

Leena Korkiala-Tanttu, Harri Kivikoski, Hans Rathmayer, Jouko Törnqvist

Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi

STEELSYNT

Tiehallinnon selvityksiä 34/2003



Leena Korkiala-Tanttu, Harri Kivikoski, Hans Rathmayer, Jouko Törnqvist

Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi

STEELSYNT

Tiehallinnon selvityksiä 34/2003

Tiehallinto
Helsinki 2003

Kannen kuva: Asennetut verkot

ISSN 1457-9871

ISBN 951-803-096-0

TIEH 3200822

ISSN 1459-1553 (www.tiehallinto.fi)

ISBN 951-803-097-9 (www.tiehallinto.fi)

TIEH 3200822-v (www.tiehallinto.fi)

Multiprint Oy

Vaasa 2003

Julkaisua myy/saatavana:

Tiehallinto, julkaisumyynti

Telefaksi 0204 22 2652

E-mail: julkaisumyynti@tiehallinto.fi

Tiehallinto

Tekniset palvelut

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelinvaihte 0204 22 150

Leena Korkiala-Tanttu, Harri Kivikoski, Hans Rathmayer, Jouko Törnqvist: Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi. Helsinki 2003. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 34/2003. 41 s. + liitt. 13 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-096-0, TIEH 3200822.

Asiasanat: tierakenne, kunnostaminen, teräsverkot, deformaatio, urautuminen, vauriot
Aiheluokka: 32, 70

TIIVISTELMÄ

Tutkimus on yhteenveto teräsverkkojen käyttökokemuksista erilaisissa tutkimuksissa sekä kokemuseräisesti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka on laatinut yhteenvetoon Tiehallinnon tilauksesta. Tutkimuksen aineisto sisälsi seuraavissa tutkimushankkeissa syntyneen aineiston: TPPT-koerakenteet, eurooppalaisen Reflex-projektin, erillisiä HVS-koerakennusprojekteja sekä Tiehallinnon tilastollisen aineiston. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää teräsverkon käytön aiheuttama konkreettinen hyöty seuraavien seikkojen suhteen: halkeamien muodostuminen, deformatuminen, routahalkeamat sekä mahdollisesti myös pituussuuntainen epätasaisuus.

Kaikki koetulokset osoittavat, että teräsverkkojen käyttö hidastaa merkittävästi rakenteiden pysyviä muodonmuutoksia eli urautumista. Keskimäärin lujitettujen rakenteiden urasyvytykset olivat vain noin 40 - 60 % lujittamattomien rakenteiden urasyvytyksistä. Lujitteiden vaikutus on pieni kohteissa, joissa rakenteen kantavuus on hyvä muutenkin. Keskimääräistä hidastumista (40 - 60 %) vastaava käyttöikänsä pidentyminen urautumisen suhteen oli noin 50 - 100 %.

Lujitteen tehokkuus riippuu sen käyttöolosuhteista. Lujite käyttäytyy tehokkaimmin olosuhteissa, joissa rakenteen kantokyky (mitattuna pinnan kantavuutena) on pieni. Mikäli rakenteen kantokyky on suuri, lujitteen hyötyvaikutus pienenee. HVS-kokeiden mukaan myös muut lujitemateriaalit kuten lasikuitulujitteet voivat toimia yhtä tehokkaasti kuin teräslujitteet.

Koetulosten mukaan teräsverkoilla voidaan hidastaa jonkin verran rakenteen väsymistä (väsymishalkeamia). 'Routakokeessa, jossa pohjamaa oli erityisen pehmeä, tämä hidastuminen oli luokkaa 20% - 30%. Reflex-kokeiden mukaan tämä hidastuminen oli vain vähäistä. Reflex-tutkimukseen kuuluvien laskentojen mukaan sidotun kerroksen pohjan venymät olisivat noin 5% - 10 % pienempiä lujitetuilla rakenteilla kuin lujittamattomilla.

Tiehallinnon tilastollisen aineiston perusteella korjattava päällyste, jossa on lujite, urautuu ja halkeilee vähemmän kuin lujittamaton, kun rakenteen vaurioitumisnopeus ennen korjausta on ollut korkea. Tämä pätee myös lujitetulle kantavalle kerrokselle.

Reflex-tutkimuksen mukaan teräsverkoilla voidaan pienentää sementillä sidotun kantavan kerroksen aiheuttamaa heijastushalkeilua noin 35 %. Myös rakenteen levittämisestä aiheutuvaa halkeilua voidaan vähentää teräsverkoilla.

Verkot estävät pituussuuntaisten routahalkeamien muodostumisen verkotetulla alueella. Pitkäaikaiset maastohavainnot, joissa on seurattu verkotettuja ja verkottamattomia rakenteita, osoittavat, että verkot estävät routahalkea-

mien muodostumista. Verkotetulla alueilla pituussuuntaiset halkeamat siirtyvät verkkojen reunoille luiska-alueelle. Teräsverkot lieventävät myös poikkisuuntaisten routahalkeamien muodostumista rajoittamalla halkeamien leveyttä ja vähentämällä niiden määrää. TPPT-tutkimuksen perusteella verkot tasaavat myös poikkisuuntaisia routanousueroja.

Teräsverkon tulee ulottua koko poikkileikkauksen leveydelle. Pituussuuntaisesti ei verkkoja TPPT tutkimusten mukaan tarvitse limittää vaan puskauma riittää, mikäli arvioitu routanousu on yli 100 mm. Mikäli routanousun on arvioitu olevan alle 100 mm, verkot voidaan asentaa siten, että niiden välissä voi olla enintään 500 mm välinen aukko.

Eri tutkimuksissa ei ole havaittu, että teräsverkoilla voitaisiin estää pituussuuntaisen epätasaisuuden muodostumista.

Kaikkien tutkimusten perusteella voidaan havaita, ettei pudotuspainolaitemittauksilla voida havaita juurikaan rakenteen kantokyvyn paranemista (kpl 2.2.2 ja 2.2.3). Sitä vastoin venymäliuskamittauksilla voidaan havaita rakenteeseen muodostuvan pienempiä venymiä (kpl 2.2.2). Norjalaisten tutkimusten mukaan on arvioitu, että levykuormituskokeilla voitaisiin mitata lujitettujen rakenteiden suurempi kantokyky.

Reflex -tutkimusten mukaan Italiassa kehitetty diagonaaliverkko toimii erityisen hyvin halkeilun ja urautumisen estämisessä (kpl 2.3).

Vaikka lujite (sekä teräsverkot että muut) selvästi parantaa rakenteen toimintaa, tätä parantumista ei voida havaita pudotuspainolaitemittauksilla.

Reflex-tutkimuksen mukaan verkon asennus syvemmälle kerrokseen tuottaa parempia tuloksia kuin ylempänä. Tämä vaikutus siitä suurempi, mitä pehmeämpi alusta on. HVS kokeista ei voida vetää vastaavaa johtopäätöstä aineiston pienuuden takia. Yleinen käytännön kokemus kuitenkin on, että teräsverkon asentaminen sitomattomiin kerrokseen on varmempi ratkaisu. Muutamia epäonnistumisia - lähinnä verkkojen esiin tunkeutumista - on tapahtunut päällystekerroksissa olevissa teräsverkoissa. Myös työturvallisuuseikat puoltavat verkkojen asentamista syvemmälle.

Nykyisten teräsverkkorakenteiden korjausrakentamisessa on havaittu koneiden rikkoontumiseen ja satunnaisesti työturvallisuuteen liittyviä ongelmia. Näitä syntyy erityisesti, jos verkko sijaitsee ylempänä rakenteessa tai päällysteessä ja rakenteelle on tehty sekoitusjyrsintää tai sitä on stabiloitu. On todennäköistä, ettei muilla lujitteilla esitetynlaisia ongelmia juuri esiinny.

Reflex-tutkimuksen perusteella arvioitiin, että havaintojaksojen pituus ei riitä antamaan lopullista vastausta lujitettujen rakenteiden hyödyn kvantifioimiseksi. Erityisesti rakenteiden pitkäaikaiskäyttäytymisestä (pysyvyys, korrosio jne.) ei ole riittävästi tietoa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että teräsverkkorakenteet ovat kustannustehokkaita tapoja lisätä rakenteen käyttöikää routimishalkeamien, urautumisen sekä kantavuuden parantamisen suhteen. Erityisen edullisia teräsverkkorakenteet ovat tierakenteissa, johon muodostuu tai on jo muodostunut suuria siirtymiä, urautumista tai vaurioita sekä routahalkeamien syntymisen estämiseen.

Leena KORKIALA-TANTTU, HARRI KIVIKOSKI, Hans RATHMAYER, Jouko TÖRNQVIST: *Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi*. [EFFECT OF STEEL GRIDS ON THE DURABILITY OF THE ROAD] Helsinki 2003. Finnish Road Administration. Finnra Reports 34/2003. 41 p. + app. 13 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-096-0, TIEH 3200822.

Keywords: low volume road, rehabilitation, accelerated pavement test, rutting, permanent deformation, steel grid, geotextile

SUMMARY

This is a synthesis of the test results with steel grids in test road constructions, so called STEELSYNT project. The behaviour of the reinforcements has been studied in many research projects. The test material for this synthesis has been: the TPPT (Pavement Structures Research Programme) test constructions, the European reinforcement research programme called Reflex and some HVS test projects (like 'Steep slope' or 'Frost test'). HVS (Heavy Vehicle Simulator) is a mobile accelerated loading test facility. The aim of the synthesis was to define the practical benefit of the usage of steel grids concerning following matters: 1) permanent deformations (rutting), 2) cracks caused by fatigue, 3) cracks caused by reflection, 4) cracks caused by frost heave, 5) longitudinal unevenness and other matters.

All test results both in laboratory and in field conditions showed that **rutting** (the depth of the rut) can be remarkably reduced by using steel grids. In average this reduction lies between 40 - 60 %. There are some tests that indicate even 60 % reduction of rut depths. The effect of the steel grid is small in structures with thick bound layers or otherwise good bearing capacity. The reduction of rutting with 40 % - 60 % means that the service life of a reinforced pavement is about 50 - 100 % longer than the service life of an unreinforced pavement in respect to rutting.

The efficiency of the reinforcement depends on the conditions where it is used. The reinforcement works best in the cases where the bearing capacity of the pavement is low. If the bearing capacity of the pavement is high, reinforcement does not reduce the rutting speed much. In the tests the surface moduli - which indicates bearing capacity - have been measured with falling weight deflectometer or with Benkelmann beam.

The HVS test results indicate that other reinforcement materials than steel can function as well as steel grids in the bound layers. At least the glass fibre reinforcement Polyfelt PGM-G100/100 performed well, even a little better than its reference steel grid.

Test results show that steel grid delays **fatigue** to some extent. In the 'Frost test', where the subgrade was very weak because of thawing, this delay was about 20 %... 30 %. In the Reflex tests a steel grid with the pitch size of # 75 mm delayed fatigue only slightly and a steel grid with the pitch size # 150 mm had no better performance than unreinforced pavement. The calculations in Reflex projects indicate some 5 %...10 % reduction to the resilient strains in the reinforced pavement compared with unreinforced pavement.

According to the statistics (database of Finnish Road Administration) an overlay with a steel grid seems to reduce both rutting and cracking more ef-

fectively than an overlay without a grid, when the speed of the cracking or rutting was high before the rehabilitation. The same applies for a grid in the unbound base.

The Reflex project prognoses that **reflection cracking** of a cement bound gravel base can be reduced 35 % by steel grids. Some other unspecified research results indicate that cracking due to the widening of the road can be reduced by reinforcements. No amount of this reduction was presented. A steel grid prevents the development of longitudinal **frost cracks** in the reinforced area according to the TPPT test results and over twenty years of field experience with reinforced and unreinforced structures. The longitudinal cracks usually move to the edges of the road where grid reinforcement ends. Steel grid also mitigates the transverse frost cracking by curtailing the width of the cracks and by preventing the development of small cracks.

The grid should be installed in the whole width of the road to prevent cracking caused by frost heave or rutting of a narrow road. If a steel grid is used to reduce rutting of a wide road it should be installed in the whole width of a lane. No overlapping of the steel grid is needed in longitudinal direction to prevent cracks caused by frost heave. On the contrary the space between adjacent grids can be up to 500 mm, if the frost heave is less than 100 mm. If the frost heave is bigger than 100 mm, the grids should be installed with edge joint (close to each other with no space between them).

The TPPT test structures show that the frost heave differences in the cross section can be levelled with steel grids. Reflex project recommends that at least 50 mm asphalt layer should be spread upon the steel grid. The used steel grid can be quite light.

The researches so far have not found that **longitudinal unevenness** could be levelled with reinforcements.

Even though reinforcement clearly improves the performance of a pavement it is impossible or difficult to proof this better performance with Falling Weight Deflectometer measurements. This phenomenon was detected for both steel grids and glass fibre reinforcements.

It is recommended that steel grids should be installed in the unbound layers. It is presumable, that grids operate as well in both unbound and bound layers. Yet, the reason for this recommendation is that there have been some failures with steel grids in bound layers. The failures relate to the techniques and safety at work.

An important factor, that restricts the utilisation of steel grids, is the problems with rehabilitation of the pavements with steel grids. There are difficulties in both milling and stabilisation of these pavements. Typically the problems are with the breakdown of the machines but also some problems have been with the safety at work. With other reinforcement materials (like glass fibre) this is not a problem.

The experiences with utilisation of the reinforcements in pavements are quite restricted. So the estimation on the long term performance (like stability, corrosion aso.) have some uncertainty.

ESIPUHE

Tiehallinto tilasi VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikalta yhteenvedon teräsverkkojen käyttökokemuksista Heavy Vehicle Simulator (HVS)- ja muissa koerakennuskohteissa sekä Tiehallinnon tilastolliseen aineistoon perustuen. Tutkimuksen tavoitteena oli laatia yhteenvedo, jonka avulla voidaan arvioida teräsverkoilla lujitettujen rakenteiden käyttäytymistä suhteessa lujittamattomien rakenteiden käyttäytymiseen ja arvioida lujittamisesta koituvia hyötyjä. Tavoitteena oli selvittää teräsverkon käytön aiheuttama konkreettinen hyöty erityisesti seuraavien seikkojen suhteen: halkeamien muodostuminen, deformaation, routahalkeamat sekä mahdollisesti myös pituussuuntainen epätasaisuus. Tutkimus tehtiin VTT:llä tutkimussuunnitelman mukaan koamalla jo tehtyjen tutkimusten tuloksia sekä kokemusperäistä tietoa VTT:ltä, Tiehallinnosta ja Tieliikelaitokselta.

Tutkimukseen osallistuivat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta Harri Kivikoski (TPPT - koerakenteet, routahalkeamat), Hans Rathmayer (Reflex tutkimus), Leena Korkiala-Tanttu (HVS-kokeet) sekä Jouko Törnqvist (tutkimuksen ohjaus).

Espoo heinäkuu 2003

Tiehallinto
Tekniset palvelut

Sisältö

1	JOHDANTO	11
2	TUTKIMUSAINEISTO	11
2.1	TPPT- teräsverkkorakenteet	11
2.1.1	Yleistä	11
2.1.2	Pt 18629 Temmes	12
2.1.3	Kt 78 Ranua	13
2.1.4	Mt 661 Isojoki	14
2.1.5	Kehä III	14
2.1.6	TPPT-koerakenteiden yhteenveto	16
2.2	HVS-koerakenteet	19
2.2.1	Routakokeet	19
2.2.2	Reflex-kokeet	22
2.2.3	Jyrkkäluiskainen - koe	24
2.2.4	HVS-Rakenteiden vertailu	27
2.3	Reflex-tutkimuksen yhteenveto	30
2.3.1	Aineisto	30
2.3.2	Reflex -tutkimuksen tulokset	30
2.3.3	Taloudellisuusanalyysi (<i>ote raportista T8</i>)	31
2.3.4	Mitoitus	32
2.3.5	Reflex-loppuraportissa "Guidelines" esitetyt materiaalivaatimukset eri mitoitustapauksille.	33
3	TERÄSVERKON VAIKUTUS ERI MITOITUSTAPAUKSISSA JA OLOSUHTEISSA	35
3.1	Urautuminen	35
3.2	Väsymishalkeamat	37
3.3	Heijastus- ja levennyshalkeamat	37
3.4	Routahalkeamat	37
3.5	Pituussuuntainen epätasaisuus:	38
3.6	Mitoitus	38
3.7	Työturvallisuus ja muut huomiot	38
3.8	Johtopäätökset	39
4	KIRJALLISUUS	40
5	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka on Tiehallinnon toimeksiannosta laatinut yhteenvedon teräsverkkojen käyttökokemuksista Heavy Vehicle Simulator (HVS)- ja muissa koekohteissa. Tutkimuksen aineisto on sisältänyt seuraavissa tutkimushankkeissa syntyneen aineiston: TPPT- koerakenteet, eurooppalaisen Reflex -projektin sekä erillisiä HVS-koerakennusprojekteja ja Tiehallinnon tilastollisen aineiston. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää teräsverkon käytön aiheuttama konkreettinen hyöty seuraavien seikkojen suhteen: halkeamien muodostuminen, deformatuminen, routahalkeamat sekä mahdollisesti myös pituussuuntainen epätasaisuus.

Tässä tutkimusraportissa on esitetty ensiksi analysoitu aineisto lyhyesti. Sen jälkeen on koottu yhteen aineistosta vedettävät johtopäätökset. Ensimmäiseksi on esitelty TPPT-koerakennuskohteet, toisena HVS-koerakenteet ja viimeisenä on esitetty Reflex-projektista koottuja kokemuksia. Raportin lopussa on esitetty kaikista kokeesta vedetty yhteenveto sekä johtopäätökset.

Raportissa on käytetty verkkojen mitoista seuraavaa merkintätapaa: B500K - 7/5 -150/200 - F30, jossa on ensin teräslaatu, sitten verkon lankojen halkaisijat mm:nä. Toisena lukuparina on esitetty verkon aukkokoot mm:nä ja viimeisenä on hitsausliitoksen lujuusluokka. Mittaparit on esitetty siten, että ensimmäisenä on pituussuuntainen mitta ja toisena on poikkisuuntainen mitta.

2 TUTKIMUSAINEISTO

2.1 TPPT- teräsverkkorakenteet

2.1.1 Yleistä

Tien pohja- ja päällysrakenteiden tutkimusprojektin (TPPT) yhteydessä rakennettiin teräsverkkokoerakenteita seuraavissa kohteissa:

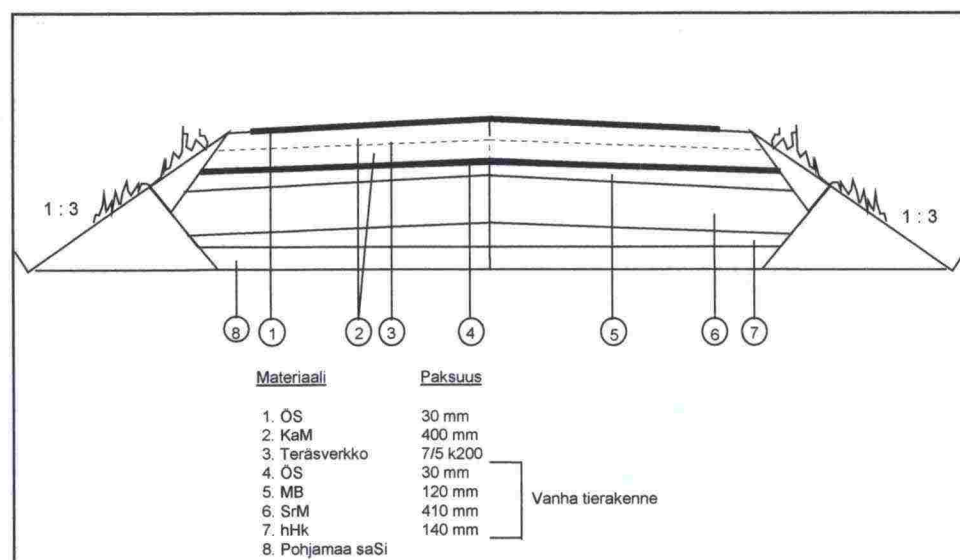
- Pt 18629 Temmes
 - teräsverkot kantavan kerroksen keskellä, verkkojen vaakasuuntaista vapaata väliä varioitu sekä jatkuvaksi verkotettuja rakenteita, 1995 /1/,
- Kt 78 Ranua
 - teräsverkot Remixer-stabiloinnin päällä, 1995 /2/,
- Mt 661 Isojoki
 - teräsverkot bitumistabilointikerroksen keskellä, 1997 /3/,
- Kehä III
 - teräsverkot maabetonikerrosten yhteydessä, 1995 /4/.

Teräsverkkojen asentamisella rakenteisiin oli tavoitteena estää päällysrakenteen vaurioituminen routaliikkeiden ja liikennekuormituksen yhteisvaikutuksesta.

2.1.2 Pt 18629 Temmes

Koerakenne tehtiin paaluvälillä plv. 7620 - 7840 siten, että teräsverkot asennettiin viiden verkon ryhmissä siten, että verkkojen väliin jäävää välimatkaa kasvatettiin ensimmäisen ryhmän 0,2 metristä viimeisen ryhmän 2,35 metriin 0,2 metrin askelissa. Lisäksi vanhan tierakenteen tasausviivaa korotettiin 400 mm:n murskekerroksella, jonka päälle tehtiin 40 mm:n PAB - päällystekerros. Vanhan rakenteen öljysora poistettiin. Teräsverkko sijaitsi murskekerroksessa 200 mm:n syvyydellä sen yläpinnasta. Myös paaluvälillä plv. 13670 - 13900 toteutettiin vastaava teräsverkkorakenne välejä kasvattamalla. Teräsverkot olivat tyyppiä B500K - 7/5 -150/200 - F30.

Koeosuuden vertailurakenteena toimi jatkuvaksi verkotettu rakenne tieosuudella plv. 13900 - 14240. Pohjamaa oli koeosuuksilla pääosin savista silttiä tai silttiä. Kuvassa 2.1 on esitetty Temmeksen kohteen tyyppipoikkileikkaus.



Kuva 2.1. Pt 18629 Temmeksen koerakennuskohteen tyyppipoikkileikkaus.

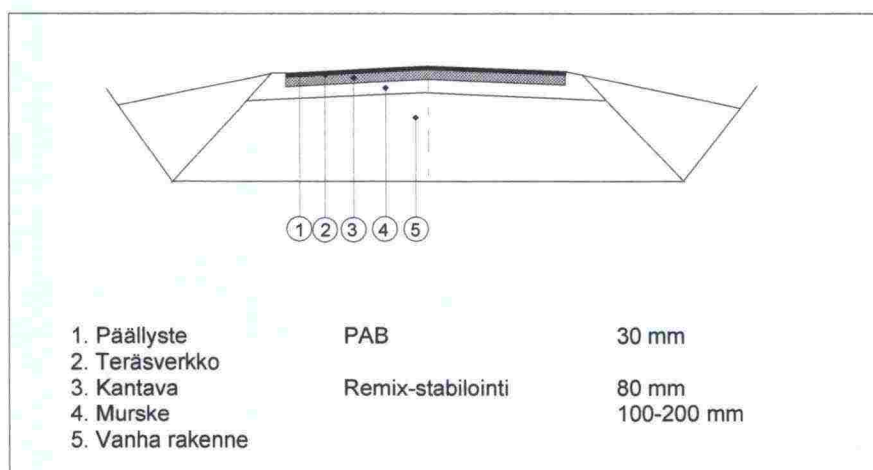
Kuuden seurantalven jälkeen keväällä 2001 koeosuuksilla oli havaittavissa tien reunaosilla paikoin runsasta pituushalkeilua. Pituushalkeamien määrä koeosuudella 1 (plv. 7620 - 7840) oli 121 m/220 m, koeosuudella 2 (plv. 13670 - 13900) 357.5 m/230 m ja jatkuvaksi verkotetulla osuudella 443 m/340 m. Vaikka koeosuuksien ja vertailuosuuden maksimiroutanousut olivat vaihdelleet seurantalven 1996-2001 aikana välillä 70 - 240 mm, ei osuuksilla esiintynyt tien keskilinjaa pituushalkeilua. Teräsverkon vaikutuksesta tien routanousuerot keskilinjaa ja reunoja välillä olivat keskimäärin hyvin pienet.

Tien reuna-alueella sijaitsevien pituushalkeamien leveydet olivat riippumattomia teräsverkkojen asennustavasta (verkkojen välin kasvattaminen 0.2 metristä 2.35 metriin tai normaaliverkotettu rakenne), kun routanousujen taso oli keskimäärin alle 100 mm. Verkkojen välin kasvattaminen noin 2 metriin tosin lisäsi pituushalkeamien määrää ja vaurioita esiintyi myös kauempana päällysteen reunasta. Vauriot keskittyivät verkkojen väliselle, verkottomalle alueelle. Sen sijaan routanousujen ollessa yli 100 mm reunalla sijaitsevien pituushalkeamien määrä ja vaurioiden vakavuus lisääntyivät routanousutason ja verkkovälin kasvaessa. Vauriot Temmeksen kohteen tasaisuus oli vuonna 2001 luokiteltavissa keväällä keskimäärin tyydyttäväksi ja kesällä keskimäärin hyväksi.

Vaurioiden määrä lisääntyi vastaavasti reunalta ajoradalle päin, kun routanousutaso ja verkkoväli kasvoivat. Keväällä 2001 koeosuuden 1 vauriosumma oli 10.4 m²/100 m, koeosuuden 2 67.8 m²/100 m ja vertailuosuuden 36.0 m²/100 m.

2.1.3 Kt 78 Ranua

Koerakenne tehtiin paaluvälillä plv. 15360 – 15460. Remixer-stabilointi tehtiin 8 cm:n laattana ja stabiloinnin päälle asennettiin teräsverkot stabiloinnin reunasta reunaan. Tien pituussuunnassa verkot (B500K 7/5 - 150/200) asennettiin limittämättä. Tasausmassana käytettiin PAB 18/100, joka levitettiin välittömästi verkkojen asentamisen jälkeen. Tasausmassan päälle levitettiin varsinaiseksi päällysteeksi PAB 18/80 (kuva 2.2).



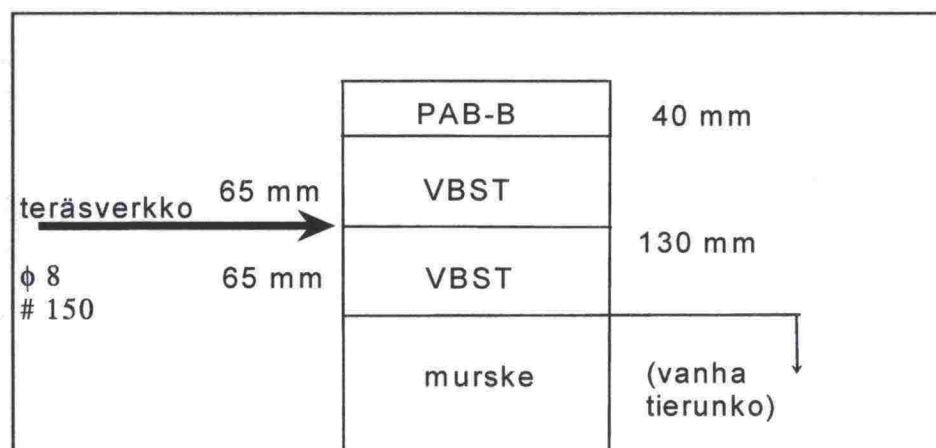
Kuva 2.2. Kt 78 Ranuan koerakennuskohteen tyyppipoikkileikkaus.

Havaitut routanousut olivat seurantalavien aikana pääosin erittäin suuria, vaihdellen välillä 14 – 298 mm. Pienimmät routanousut mitattiin rummun siirtymärakenteessa. Keskimääräiset routanousut vaihtelivat välillä 127 – 137 mm. Tien routiminen oli poikkileikkauksessa hyvin epätasaista siten, että tien oikea reuna routi selvästi voimakkaimmin.

Erittäin suurista routanousuista ja tien oikean reunan voimakkaammasta routimisesta johtuen oli tien oikealla kaistalla reunaviivan tuntumassa havaittu vuosittain yhtenäinen pituushalkeama, jonka sisältä oli paikoin näkynyt teräsverkkoa. Halkeama oli edelleen jatkunut tien sisäluiskan murskeessa. Tien päällysrakenne oli noussut laattana eikä tyypillisiä pohjamaan voimakkaasta routimisesta aiheutuvia pituushalkeamia keskitiellä ollut esiintynyt. Tasaisuus oli luokiteltavissa sekä keväällä että kesällä 2001 keskimäärin huonoksi. Ruan teräsverkko-osuuden vauriosumma oli keväällä 2001 16.6 m²/100 m.

2.1.4 Mt 661 Isojoki

Koerakenne tehtiin paaluvälille plv. 15860 – 16060. Teräsverkko asennettiin bitumistabilointikerroksen keskelle. Ennen sideaineen sekoitusta uutta mursketta lisättiin noin 100 mm ja tienpinta muotoiltiin ja esitiivistettiin. Stabilointina oli vaahtobitumistabilointi B160/200, paksuus 130 mm. Jyrsinnän jälkeen puolet löyhästä kerroksesta siirrettiin karheelle ja pohja tasoitettiin ja tiivistettiin kevyesti. Pohjalle asennettiin teräsverkko ja bitumistabilointimassa siirrettiin verkon päälle. Kerros tasattiin ja tiivistettiin huolellisesti. Kuvassa 2.3 on esitetty Mt 661 Isojoen teräsverkkorakenteen periaatekuva.



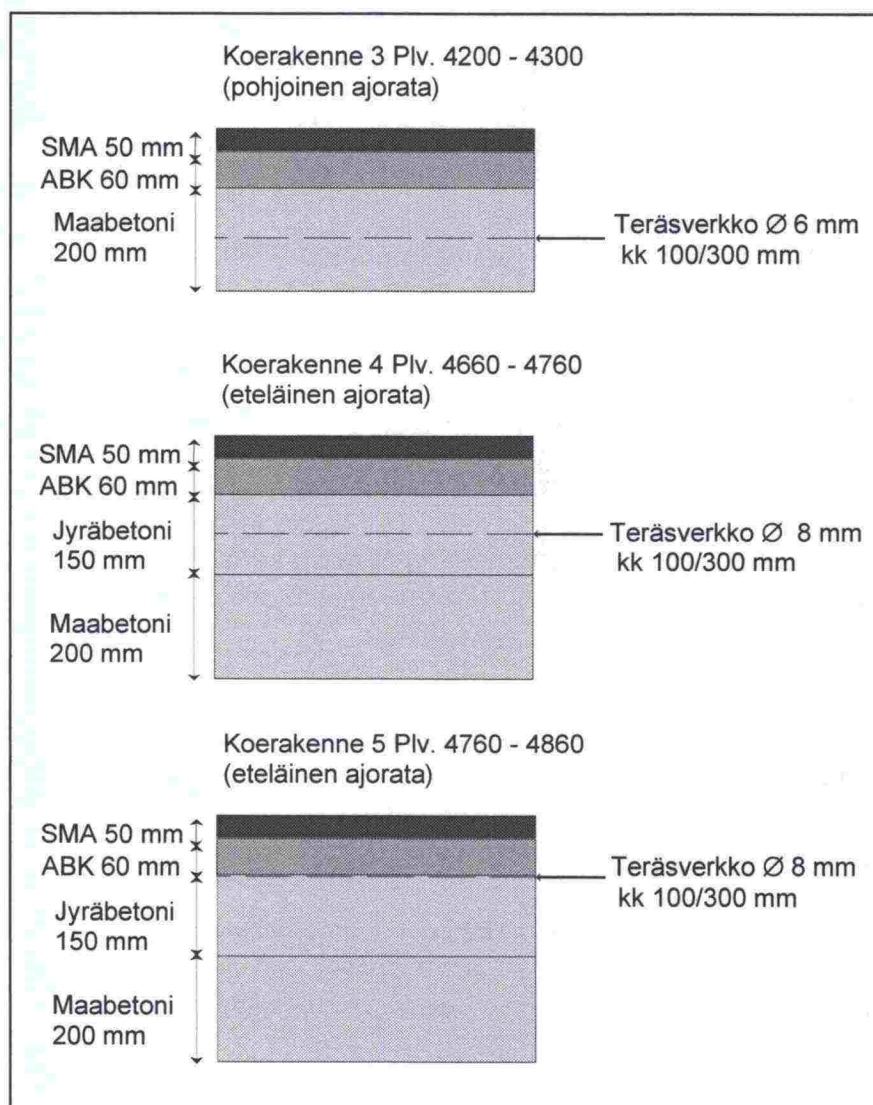
Kuva 2.3. Mt 661 Isojoen teräsverkkorakenteen periaatekuva.

Seurantatalvien aikana havaitut routanousut olivat hyvin pieniä, keskimäärin 20-30 mm. Vaurioina havaittiin keväällä 2001 4 poikkihalkeamaa sekä tien reuna-alueella pituushalkeamia 140 m/200 m, joiden leveys oli alle 5 mm eli osuuden vauriosumma oli 10 m²/100 m.

2.1.5 Kehä III

Kohteen rakenteena oli maabetoni louhospenkereellä. Pohjoisella ajoradalla maabetonikerros oli 200 mm paksu. Eteläisellä ajoradalla maabetonikerroksen päälle oli suunniteltu 150 mm jyväbetonia, mutta kyseinen kerros tehtiin aivan samalla maabetonireseptillä.

Maabetonirakenteiden suurimpana ongelmana on maabetonin hallitsematon kutistumishalkeilu. Heijastushalkeamat oli tarkoitus estää geoverkoilla ja teräsverkoilla. Teräsverkko oli asennettu maabetonin keskelle tai pintaan. *Kuvassa 2.4 on esitetty teräsverkot koeosuuksittain.*



Kuva 2.4. Kehä III teräsverkot koeosuuksittain.

Vuoteen 2001 asti (kohde päällystettiin kesällä 2001) tehtyjen kuuden vuoden vauriokartoitusten mukaan koealueiden maabetonin heijastushalkeamien estoratkaisujen toimivuudesta voitiin tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

- Pohjoisella ajoradalla ei lasikuitu-geovahvisteilla (kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 23 kpl/100 m) eikä ohuemmalla ($\phi=6$ mm) teräsverkolla (kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 22 kpl/100 m) onnistuttu estämään heijastushalkeamien syntymistä päällysteeseen (vrt. referenssialueella kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 23 kpl/100 m).

- Eteläisellä ajoradalla geovahvisteet hidastivat jonkin verran (eri vetolujuudella ei vaikutusta) heijastushalkeamien syntyä (kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 11 kpl/100 m) päällysteeseen referenssialueeseen verrattuna (kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 12 kpl/100 m), kuitenkin paljon vähemmän kuin teräsverkko.
- Maabetonin heijastushalkeamien syntyä päällysteeseen esti parhaiten maabetonikerroksen (jyräbetonikerroksen) keskelle asennettu teräsverkko, jonka tangon paksuus oli 8 mm (kaistanlevyisiä poikkihalkeamia 7.5 kpl/100 m).

Vertailuna olleelle maabetonin korvaavalle bitumiselle rakenteelle syntyi vain neljä erittäin lyhyttä poikkihalkeamaa oikealle kaistalle, yhteismitaltaan 1.3 kpl/100 m.

2.1.6 TPPT-koerakenteiden yhteenveto

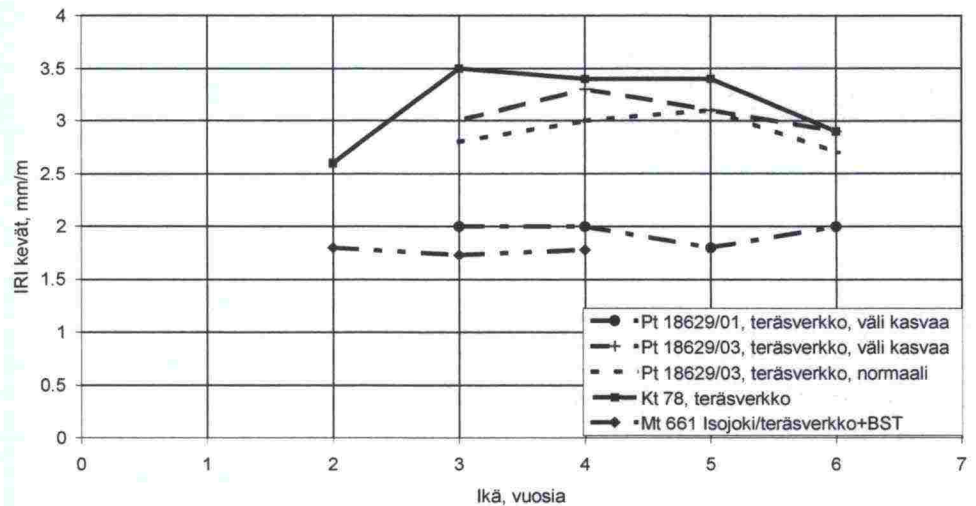
Teräsverkkokohteiden käyttäytymisen keskinäistä vertailua vaikeuttivat kohteiden vähäinen määrä sekä kokeilujen erilaisuus; teräsverkot oli asennettu joko päällysteeseen, sitomattomaan kantavaan kerrokseen, bitumistabilointikerroksen keskelle tai maabetonikerroksen yhteyteen.

Yhteenvetona havainnoista voidaan esittää seuraavaa:

- Tien keskilinjalla ei ilmennyt pituushalkeamia, vaikka routanousut olivat enimmillään lähes 300 mm ja routanousuero keskilinjan ja reunan välillä suurimmillaan 70 mm. Verkolla jäykistetty rakenne (päällyste) nousi tasaisena laattana (Ranua).
- Teräsverkon vaikutuksesta tien routanousuerot keskilinjan ja reunojen välillä olivat keskimäärin hyvin pienet, enimmillään 10-15 mm (Temmes, teräsverkot sitomattoman kantavan kerroksen keskellä).
- Tien reuna-alueella sijaitsevien pituushalkeamien leveydet pienillä routanousuilla (alle noin 100 mm) olivat riippumattomia teräsverkkojen asennustavasta (elementtien väli 0.2 – 2.35 m). Suuremmilla routanousuilla reunalla sijaitsevien pituushalkeamien määrä ja vaurioiden vakavuus lisääntyivät routanousutason ja verkkoelementtien välin kasvaessa (Temmes).
- Vaurioiden määrä lisääntyi vastaavasti reunalta ajoradalle päin, kun routanousutaso ja verkkoelementtien väli kasvoivat (Temmes).
- Maabetonin heijastushalkeamien syntyä päällysteeseen esti parhaiten maabetonikerroksen keskelle asennettu riittävän paksu teräsverkko (koekohteessa parhaiten toimi verkko, jonka tangon paksuus oli 8 mm).

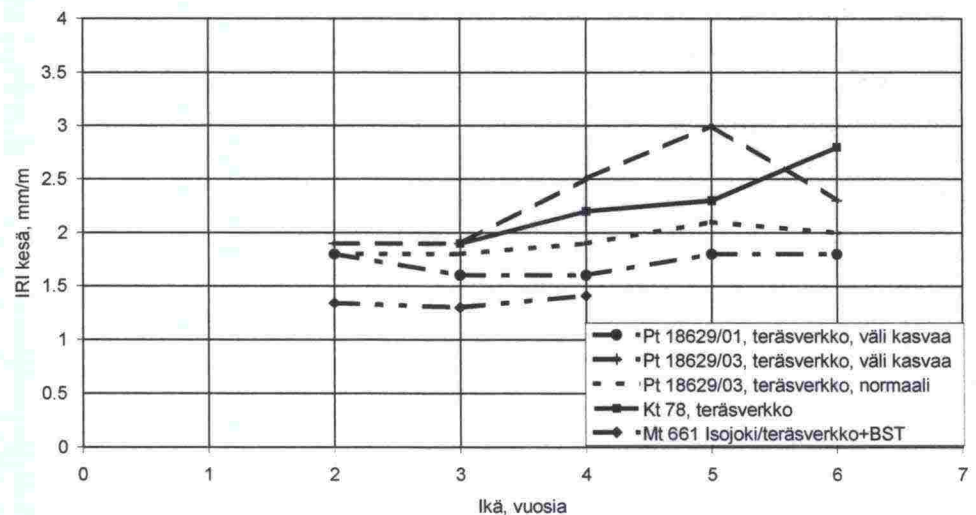
IRI-arvot olivat keväällä keskimäärin 2.6 mm/m (kuva 2.5) ja kesällä 1.9 mm/m (kuva 2.6) (havaintojaksot 4-6 vuotta). Kahden vuoden ikäisellä kohteella kesän IRI-arvo oli keskimäärin 1.7 mm/m. Tämän jälkeen kesän IRI-arvojen muutosnopeus oli keskimäärin 0.1 mm/m/a.

TPPT-teräsverkkorakenteiden IRI-arvot keväällä ajan suhteen



Kuva 2.5. TPPT-teräsverkkorakenteiden IRI-arvot keväällä routanousun maksimin aikoina ajan suhteen. IRI-arvojen keskiarvo 2.5 mm/m.

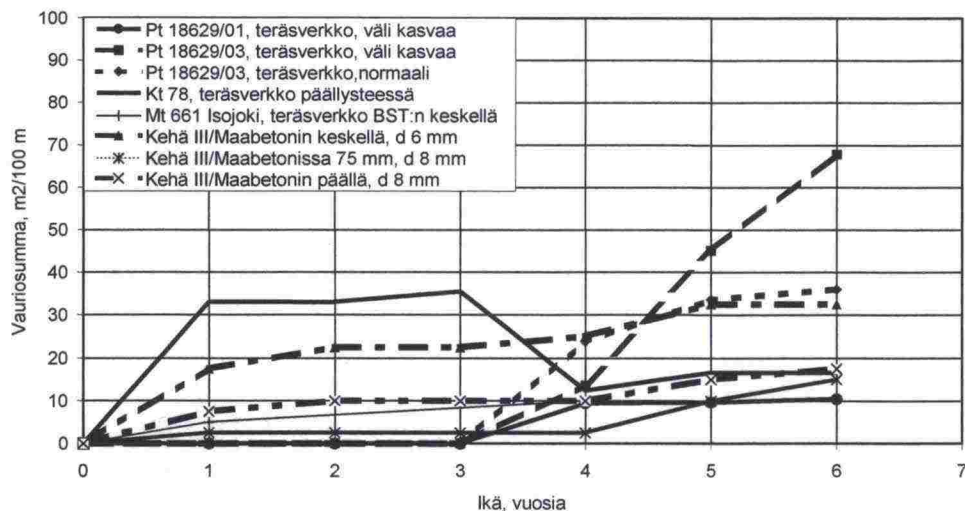
TPPT-teräsverkkorakenteiden IRI-arvot kesällä ajan suhteen



Kuva 2.6. TPPT-teräsverkkorakenteiden IRI-arvot kesällä ajan suhteen. IRI-arvojen keskiarvo 2.1 mm/m. IRI-muutosnopeus on keskimäärin 0.1 mm/m/a.

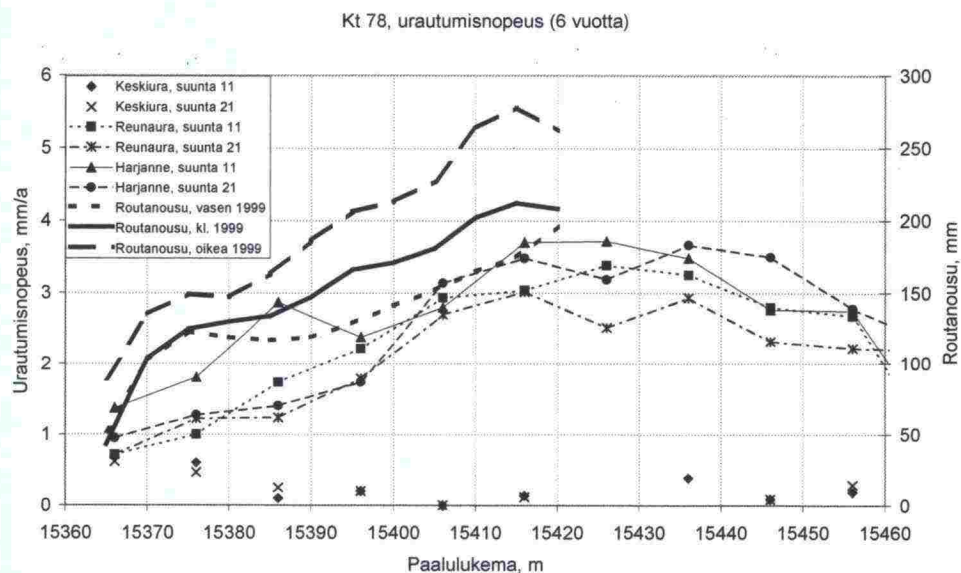
Vaurioitumisnopeus vaihteli välillä 2.5 – 6.0 m²/100 m/a, keskiarvon ollessa 3.7 m²/100 m/a (jätetty pois kohteet Pt 18629/01 ja Pt 18629/03, joissa verkkojen väli kasvaa). Kuvassa 2.7 on esitetty TPPT-teräsverkkokohteiden vauriosummat ajan suhteen.

TPPT-teräsverkkorakenteiden vauriosummat ajan suhteen



Kuva 2.7. TPPT-teräsverkkorakenteiden vauriosummat ajan suhteen. Vaurioitumisnopeus vaihteli välillä 2.5 – 6.0 m²/100 m/a, keskiarvon ollessa 3.7 m²/100 m/a (jätetty pois kohteet Pt 18629/01 ja Pt 18629/03, joissa verkkojen väli kasvaa).

Ranuan kohteessa reunauran ja harjanteen kasvunopeus riippui havaitun routanousun suuruudesta (6 vuoden urahavainnot). Routanousutasolla 50 – 100 mm reunauran ja harjanteen kasvunopeus oli luokkaa 1 mm/a, routanousutasolla 100 – 150 mm luokkaa 1–3 mm/a ja routanousuilla yli 150 mm luokkaa yli 3 – 3.5 mm/a (kuva 2.8). Keskimmaisessä mittausurassa ei seurannan aikana havaittu juurikaan urautumista.

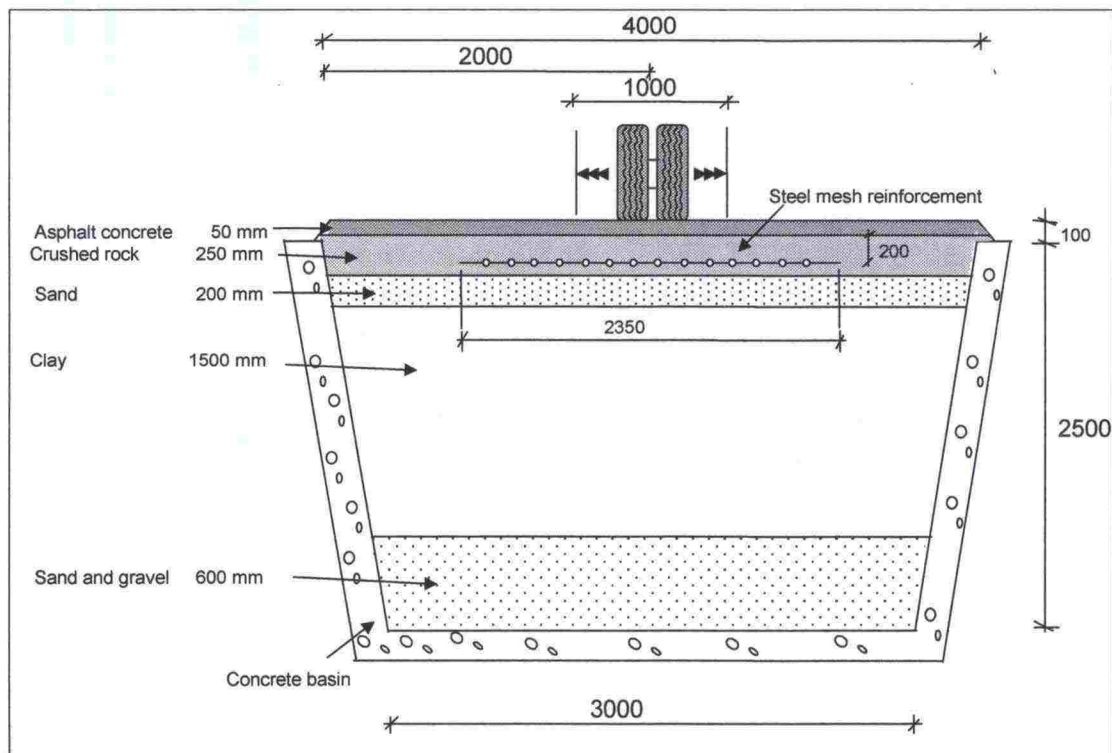


Kuva 2.8. Ranuan kohteessa reunauran ja harjanteen kasvunopeus riippui havaitun routanousun suuruudesta (6 vuoden urahavainnot). Routanousutasolla 50 – 100 mm reunauran ja harjanteen kasvunopeus oli luokkaa 1 mm/a, routanousutasolla 100 – 150 mm luokkaa 1-3 mm/a ja routanousuilla yli 150 mm luokkaa yli 3 – 3.5 mm/a. Keskiurassa ei seurannan aikana havaittu juurikaan urautumista. Routanousuvaaitukset päättyivät paalulle Pl. 15420.

2.2 HVS-koerakenteet

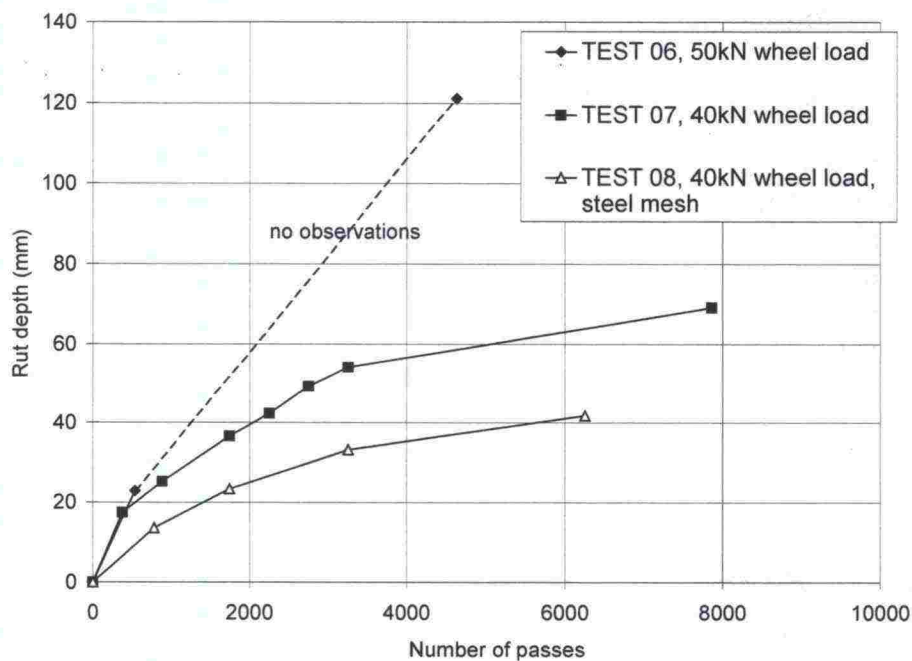
2.2.1 Routakokeet

Routakokeet suoritettiin vuonna 1998. Kokeiden tavoitteena oli selvittää, kuinka tierakenne käyttäytyy jäätyneen ja sulamisvaiheessa olevan pohjamaan päällä /6/. Toisena tavoitteena oli selvittää, kuinka teräsverkko parantaa kantavuutta sulamisvaiheen aikana. Routakokeessa testattiin kolme rakennetta muuten samanlaista rakennetta, joista kolmannessa oli teräsverkko kantavassa kerroksessa (kuva 2.9).

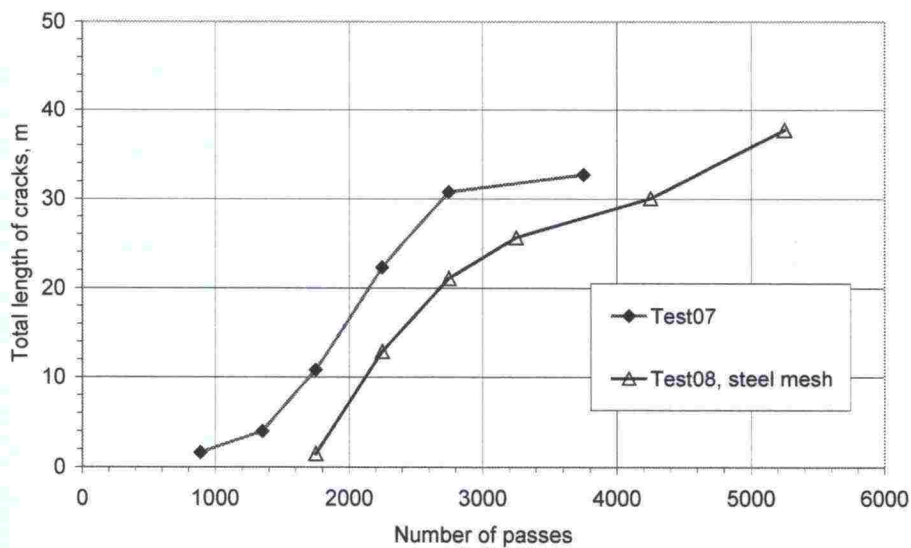


Kuva 2.9. Routarakenteen routa08 poikkileikkaus. Rakenteet routa06 ja routa07 olivat muuten samanlaisia, mutta ilman teräsverkkoa.

Routakokeessa rakenteiden annettiin jäätyä pinnalta noin 1,5 metrin syvyyteen. Kun sulaminen pinnalta oli edennyt 0,9 metrin syvyyteen, tehtiin HVS-kuormitukset /6/. Kuvassa 2.10 on esitetty routakokeiden urautuminen suhteessa ylityskertoihin. Kokeissa käytettiin kuormittavana pyöränä paripyörää ja kuormitustapa oli yksisuuntainen. Paripyörän kuorman maksimiarvona kokeessa 06 oli 50 kN ja kokeissa 07 ja 08 40 kN. Tässä vertailussa on käytetty vain kokeiden 07 ja 08 tuloksia. Kuvassa 2.11 on esitetty Routakokeen vaurioitumisnopeus kokeissa referenssirakenteessa 07 ja raudoitettussa rakenteessa 08.



Kuva 2.10. Routakokeiden pinnan urautuminen.



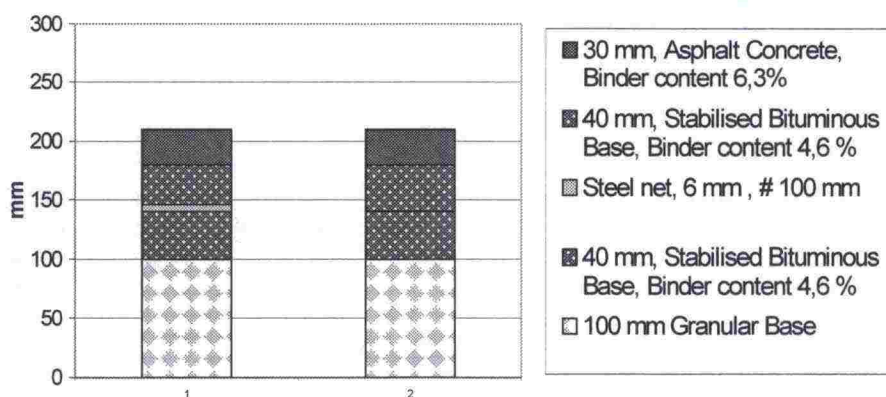
Kuva 2.11. Routakokeen pinnan vaurioituminen.

Routakokeista voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

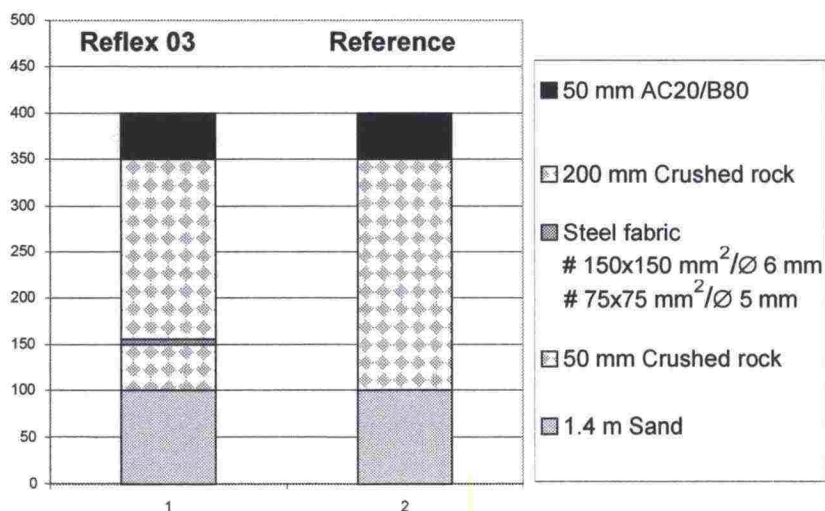
- Raudoitettu rakenne kestää 100...250 % enemmän ylityksiä kuin referenssirakenne, kun mittarina on urautuminen.
- Raudoitettun rakenteen vaurioituminen on hitaampaa kuin raudoittamattoman.

2.2.2 Reflex-kokeet

Reflex -projekti oli eurooppalainen neljänteen puiteohjelmaan kuuluva tutkimushanke, joka tutki teräsverkkojen vaikutusta rakenteiden eliniän pidentämiseen sekä uudisrakentamisessa että parannuskohteissa [7]. Reflex-tutkimukseen kuuluneiden HVS -kokeiden tavoitteena oli verrata keskenään raudoitettuja ja raudoittamattomia rakenteita. Reflex - rakenteista kokeet 01 ja 02 suoritettiin Ruotsissa. Koe 03 tehtiin Suomessa. Kuvassa 2.12 on esitetty Reflex rakenteen 02 rakennekerrokset ja kuvassa 2.13 Reflex03 rakenteen rakennekerrokset.



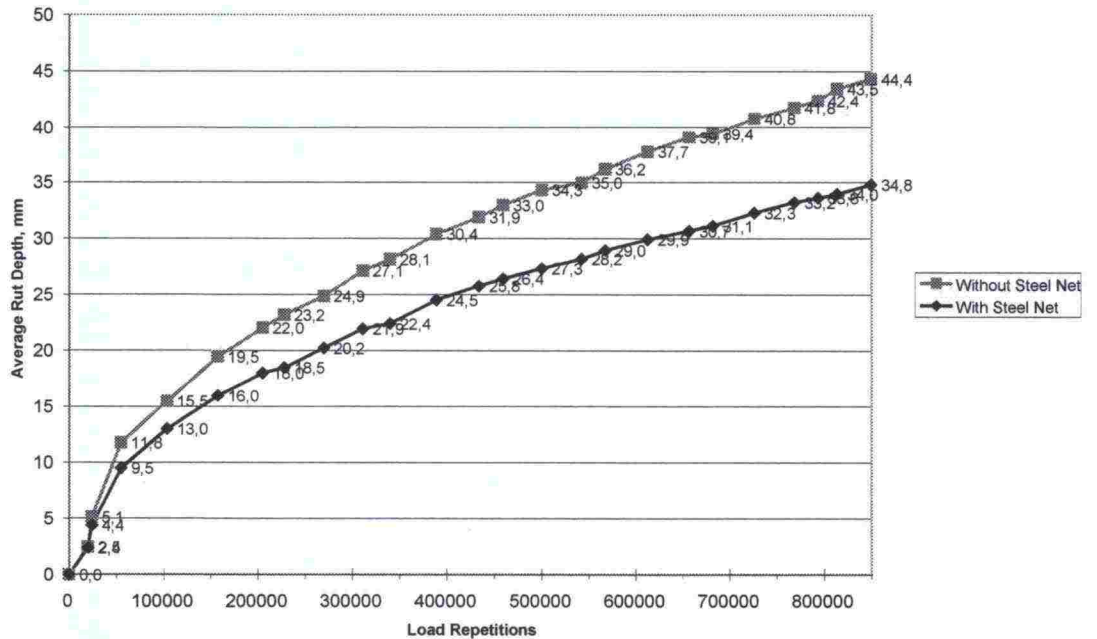
Kuva 2.12. Reflex 02 rakenteen rakennekerrokset.



Kuva 2.13. Reflex 03 rakenteen rakennekerrokset.

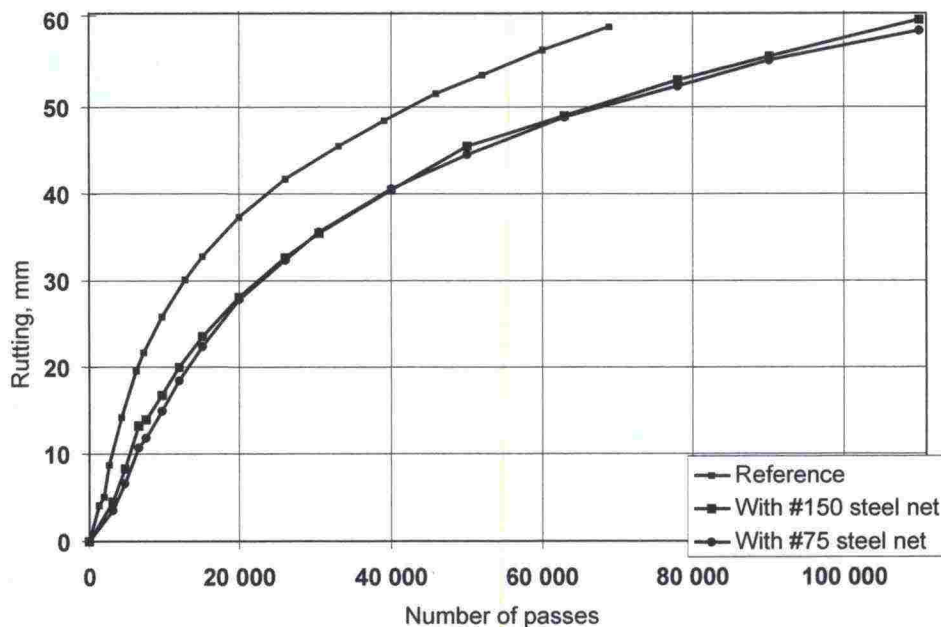
Reflex 01 rakenteen erityispiirteenä oli se, että rakennetta kuormitettiin + 40 °C lämpötilassa, jolloin suurin osa pysyvistä muodonmuutoksista tapahtui päällysteessä, siksi sitä ei käsitellä tässä yhteydessä enempää. Muiden kokeiden lämpötila kuormittaessa oli + 10 °C.

Reflex 02 kokeessa käytettiin 60 kN kuormaa paripyörälle. Kuormitus oli kaksisuuntainen + 10 ° C lämpötilassa. Teräsverkko sijaitsi sidotussa kantavassa kerroksessa. Kuvassa 2.14 on esitetty verkottoman referenssirakenteen sekä teräsverkkorakenteiden urautumiskuvaajat. Runkoaineena käytetyn murskeen raekokojakauma oli # 0...16.



Kuva 2.14. Reflex 02 rakenteen urautuminen. Ylempi kuvaaja ilman teräsverkkoa, alempi teräsverkon kanssa.

Reflex 03 kokeessa käytettiin 60 kN kuormaa paripyörälle. Kuormitus oli kaksisuuntainen + 10 ° C. Teräsverkkoja oli kahta eri tyyppiä, # 150x150 mm² / ϕ 6 mm ja # 75x75 mm² / ϕ 5 mm ja ne sijaitsivat sitomattomassa kantavassa kerroksessa, jonka raekoko oli 0..32mm . Kuvassa 2.15 on esitetty verkottoman referenssirakenteen ja verkkorakenteiden urautumiskuvaajat.



Kuva 2.15. Reflex 03 rakenteen urautuminen. Reference = verkoton referenssirakenne. Teräsverkon aukko (75 mm tai 150 mm) ei näyttäisi olevan vaikutusta urautumisnopeuteen.

HVS - Reflex-kokeista voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

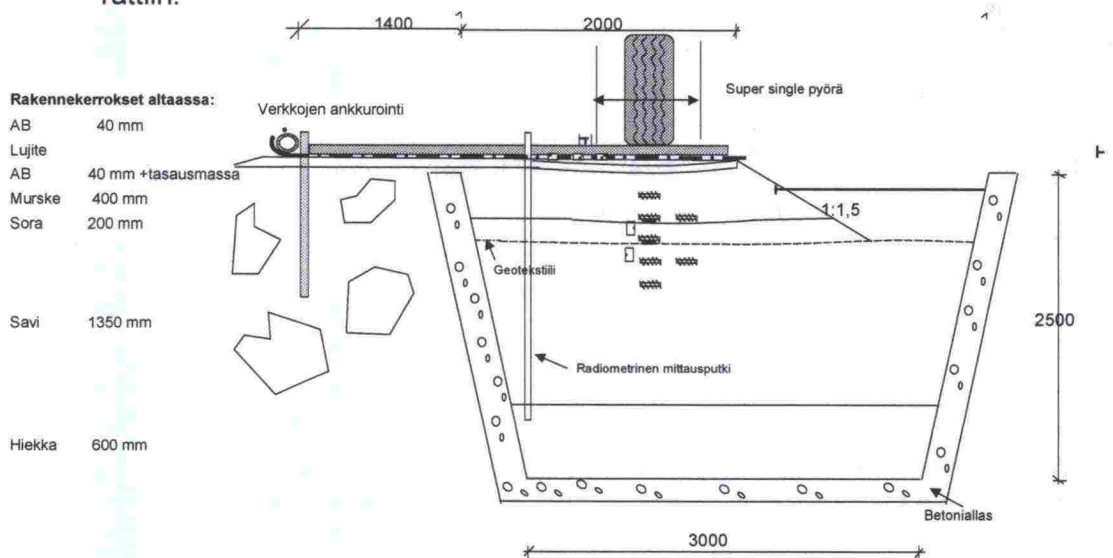
- kaikissa kokeissa raudoitettut rakenteet toimivat urautumisen suhteen paremmin kuin referenssit
- sen sijaan vaurioitumisen osalta ei havaittu merkittäviä eroja raudoitettujen ja raudoittamattomien rakenteiden välillä
- rakennekerrosten pystyjännitysten maksimit laskivat noin 20 % raudoituksen ansiosta.
- raudoitettujen rakenteiden PPL-mittauksin määritetyt kantavuudet olivat vain 2...9 % suurempia kuin referenssirakenteilla.
- Reflex 02: Raudoite lisäsi rakenteen elinikää 50...60 %. Verkon jännitykset olivat noin 12 % myötörajasta.
- Reflex 03: Raudoite (kantavassa kerroksessa) lisäsi rakenteen elinikää 50...100 %. Verkon jännitykset olivat noin 10 % myötörajasta. Verkkojen silmäkoolla / langan paksuudella ei näyttäisi olevan merkittävää vaikutusta urautumiseen.

2.2.3 Jyrkkäluiskainen - koe

Jyrkkäluiskaisessa kokeessa tehtiin peruskorjaus aikaisemmin toteutetun "Kevytpäällyste-projektin" (myöhemmin KePä) jo kertaalleen kuormitetuille rakenteille. Peruskorjauksessa urautuneet rakenteet tasoitettiin, niille asennettiin ankkuroidut lujitteet ja päälle levitettiin uusi asfalttikerros (kuva 2.16).

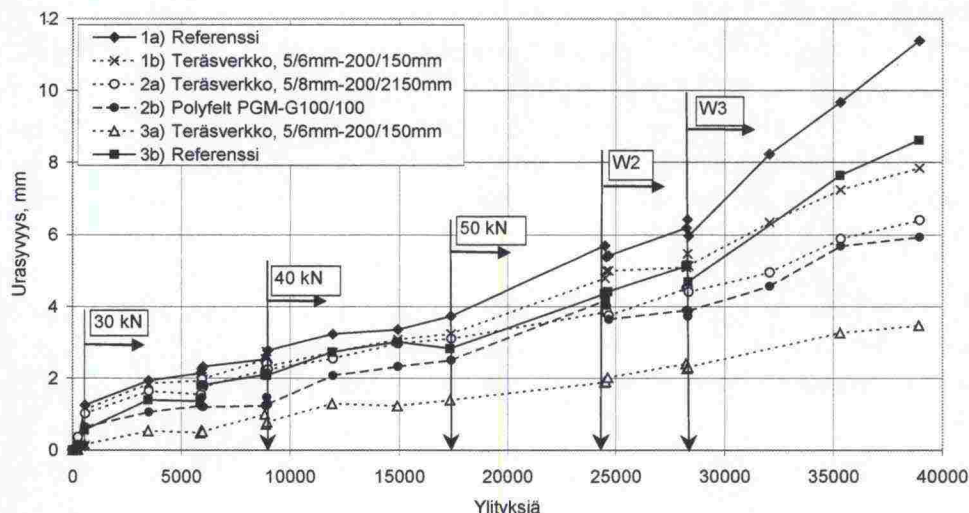
Mukana oli myös kaksi muuten samanlaista lujittamatonta rakennetta. Lujitteina käytettiin kahta erilaista verkkotyyppiä B500H - 5/6 - 200/150 ja B500H - 5/8 - 200/150 sekä lasikuitulujitetta Polyfelt PGM-G100/100. Teräsverkon ensimmäisellä lukuparilla tarkoitetaan verkon lankakokoja ja toisella lukuparilla verkon silmäkokoja pituus- ja poikkisuuntaan. Lasikuitulujitteena käytettiin päällystekerrokseen suunniteltua verkkoa, jonka vetolujuus molempiin suuntiin oli 100 kN/m.

Kaikkiin rakenteisiin kaivettiin jyrkät 1:1,5 luiskat. Kokeiden aikana mitattiin kerrosten jännitystilaa, muodonmuutoksia sekä vesipitoisuuden muuttumista ja pinnan urautumista. Myös kerrosten vesipitoisuutta ja sen muutoksia seurattiin.



Kuva 2.16. HVS - jyrkkäluiskainen kokeen tyypipoikkileikkaus.

Rakenteet kuormitettiin käyttämällä samaa kuormitusohjelmaa kuin KePä-tutkimuksessa. Kuormitusta lisättiin portaittain 10 kN askelilla 30 kN:sta 50 kN:iin. Viimeisellä kuormitusportaalla nostettiin myös vedenpinnan tasoa kaksi kertaa. Kuormittavana pyöränä käytettiin Super Single pyörää. Liitteessä 1 on esitetty kartta 'HVS-jyrkkäluiskaisen' rakenteista. Rakenteet on kuormitettu aina kahden rakenteen parina ja kerrallaan kuormitettavan alueen pituus on ollut 8 metriä. Kuvassa 2.17 on esitetty rakenteiden urautuminen eri vaiheessa koetta.



Kuva 2.17. 'Jyrkkäluiskaisen' kokeen rakenteiden urautuminen. Tapaus 1 on rakenne, jonka luiskakaltevuus muutettiin luiskattomasta luiskakaltevuuteen 1:1,5. Tapaus 2 on rakenne, jonka luiskakaltevuus muutettiin 1:3 1:1,5:en. Tapauksessa 3 luiskakaltevuus oli 1:1,5 molemmissa kokeissa. W2 ja W3 tarkoittavat eri veden pinnan tasoja. Saman tapauksen rakenteita voidaan verrata keskenään.

'Jyrkkäluiskaisten' kokeiden perusteella on havaittiin seuraavia seikkoja teräsverkkojen toiminnasta rakenteiden kunnostamisen yhteydessä:

- Eri lujitteiden toiminnan välillä ei ollut merkittäviä eroja. Tapauksen 2 mukaan sekä lasikuitulujite että paksumpilankainen teräsverkko toimivat yhtä hyvin myös verrattuina tapauksien 1 ja 3 ohuempilankaiseen verkkoon. Tapauksen 2 voidaan katsoa edustavan tapauksien 1 ja 2 välistä aluetta.
- Teräsverkon lankakoolla ei näyttäisi olevan vaikutusta urautumisnopeuteen, kun verkko on päällystekerrosten välissä. Toisin sanoen teräsverkon kapasiteetista on käytetty vain niin pieni osa, että se hoituu ohuella-kin langalla.
- Teräsverkko toimii parhaiten jo huonoon kuntoon päässeissä rakenteissa. Sitä vastoin rakenteissa, jotka ennen kunnostustoimenpiteitä olivat kohtuullisessa kunnossa, teräsverkko vähentää kyllä urautumista, mutta ero referenssirakenteeseen on pienempi (kuva 2.18).
- Teräsverkko pienentää urautumista tapauksessa 1 noin 25 - 30 % ja tapauksessa 3 55 % - 60%. Eli tapauksessa 3 lujitetun rakenteen urasyvyys koko kokeen aikana oli vain 0,4 kertainen lujittamattoman rakenteen urasyvyydestä. Vastaavasti tapauksessa 1 urasyvyyssuhde oli noin 0,7.
- Teräsverkkojen käyttö lisäsi selvästi rakenteiden elinikää. Rakenteessa, jonka luiskakaltevuus molemmissa kokeissa oli 1:1,5 (tapaus 3), lisäys

- oli 130 - 190 %. Rakenteessa, jonka luiskakaltevuus muutettiin luiskat-
tomasta 1:1,5 (tapaus 1), lisäys oli 40 - 50 %. Rakenteiden käyttäytymi-
sen suurta eroa voi selittää rakenteiden muodon muuttumisen lisäksi se,
että rakenteiden päällystekerrospaksuudet erosivat toisistaan jonkin ver-
ran. Muita vaikuttavia tekijöitä lienevät päällystekerrosten sitoutuminen
toisiinsa sekä rakentamiseen ja mittauksiin liittyvät hajonnat.
- Pudotuspainolaitteella ei juuri havaittu lujiterakenteiden pintakantavuus-
den kasvua.
- Eri HVS-kokeissa pudotuspainolaitetuloksissa ei havaittu merkittäviä
eroja lujitettujen ja lujittamattomien rakenteiden välillä. Lisäykset lujittei-
den vaikutuksesta olivat luokkaa 2 - 22 %. Tämä ero johtunee siitä, että
lujite lisää vain vähän rakenteen resiliienttimoduulia ts. pienentää dynaa-
mista muodonmuutosta. Lujite lisää rakenteen kapasiteettia kestää muo-
donmuutosta. Rakenteen muodonmuutospakasteetin kasvu tarkoittaa
pysyvien muodonmuutosten pienenemistä sekä myös rakenteen lujuu-
den kasvua.

2.2.4 HVS-Rakenteiden vertailu

Rakenteilla on seurattu erityisesti rakenteiden deformatumista eli urautu-
mista. Myös rakenteiden halkeilua seurattiin kokeiden aikana. 'Jyrkkäluiskai-
sessa' kokeessa ei havaittu halkeilua. Koska HVS-koe tehdään vain yhden
ajouran kohdalta, vauriotuloksia ei voida suoraan verrata tavanomaisiin tie-
rakenteisiin. Taulukossa 2.1 on esitetty tässä vertailussa käytettyjen HVS-
rakenteiden ja kokeiden tyyppisiä ja vertailussa käytettyjä ominaisuuksia.

Taulukko 2.1. Vertailussa käytetyt HVS - rakenteet.

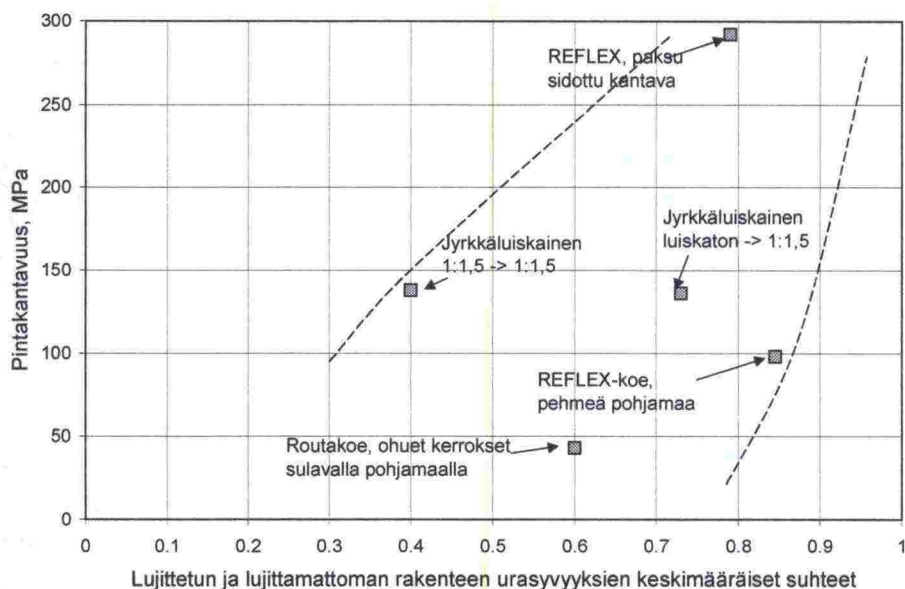
Kohde	Teräsverkko- tyyppi	Kok.kerros- paksuudet	Lujitteen syvyys pinnalta	Pyörä-tyyppi*	HUOM.
Routa 06	referenssirak.	500	-	pp	
Routa 07	referenssirak.	500	-	pp	
Routa 08	6/6 - 150/150	500	250 (kant.)	pp	
Reflex 02	6 - 100 ja refe- renssi-rakenne	210	70 (kant.)	pp	Sidottu kantava
Reflex 03	6/6 - 150/150	300	250	pp	
Jyrkkä 24	referenssirak.	690	-	ss	
Jyrkkä 25	5/6 - 200/150	690	40 (AB)	ss	
Jyrkkä 26	5/8 - 200/150	690	40 (AB)	ss	
Jyrkkä 27	lasikuitulujite	690	40 (AB)	ss	
Jyrkkä 28	5/6 - 200/150	690	40 (AB)	ss	
Jyrkkä 29	referenssirak.	690	-	ss	

* pp = pari pyörä, ss = Super single, leveä yksittäispyörä

Teräsverkkokohteita verrattiin keskenään erilaisten vaurioitumisyhteyksien
löytämiseksi. Kohteita oli suhteellisen vähän, joten tulokset ovat vain suun-
taa-antavia. Kun verrattiin teräsverkkorakenteen ja referenssirakenteen

urautumisnopeuksien suhdetta ja ennen testausta tehdyillä pudotuspainolaitteella määritettyä kantavuutta, havaittiin sama kun edellä 'Jyrkkäluiskaisissa' kokeissa: teräsverkko toimii parhaiten rakenteissa, joiden kantavuus on heikko (kuva 2.18). Teräsverkko vähentää tehokkaammin urautumista, kun sen ja referenssirakenteiden urautumisnopeuksien suhde on pieni.

Kuvassa 2.18 ja taulukossa 2.2 on esitetty urasyvyyksien suhteita eri HVS-kokeittain ryhmiteltyinä. Routakokeiden sulamisvaiheessa ei tehty pudotuspainolaitemittauksia, siksi vertailussa on käytetty Benkelmann-palkki mittauksen tuloksia. Benkelmann-mittaus on staattinen mittaus, siksi sen antamat kantavuusarvot ovat todennäköisesti selvästi pienempiä kuin vastaavat pudotuspainolaitemittaukset olisivat olleet. Vertailussa on käytetty kokeiden keskimääräisiä urasyvyys-suhteita samoilla ylitysmäärillä, koska suhde pysyy lähes vakiona koko kokeen aikana. Urasyvyyksien suhteella kuvataan teräsverkon toiminnan tehokkuutta eli mitä pienempi suhde on sitä tehokkaammin verkko estää urautumista. Taulukossa 2.2 esitetty lujitteen käyttöikää lisäävä vaikutus on laskettu kokeiden loppuvaiheesta ja 'Jyrkkäluiskaisessa' kokeessa 15 mm urasyvyyteen ekstrapoloituista arvoista.



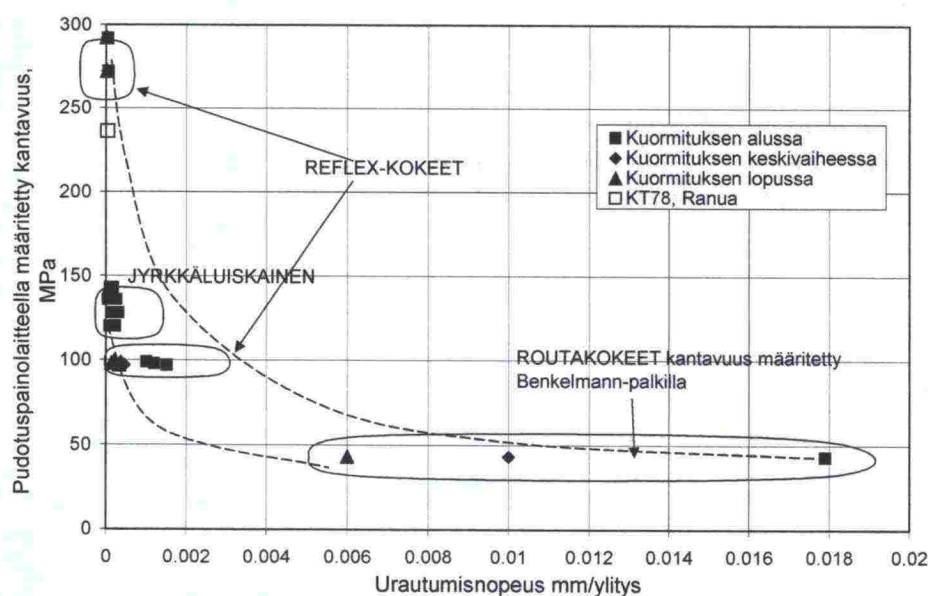
Kuva 2.18. Teräsverkko- ja referenssirakenteiden keskimääräisten urasyvyyksien suhde pudotuspainolaitetekantavuuksiin verrattuna eri HVS-koesarjoissa. Suhde on saatu jakamalla lujitetun rakenteen urasyvyys lujittamattoman urasyvyydellä. Teräsverkko toimii sitä tehokkaammin mitä pienempi urautumisnopeussuhde on.

Taulukko 2.2. Lujitteen tehokkuus eri HVS-kokeissa. Jyrkkäluiskaisessa kokeessa tapaus 1 on rakenne, jonka luiskakaltevuus muutettiin luiskatomasta 1:1,5. Tapauksessa 3 luiskakaltevuudet olivat 1:1,5 molemmissa kokeissa.

Ominaisuus	Routakoe, ohuet kerrokset sulavalla pohjamaalla	Reflex, pehmeä pohjamaa	Jyrkkäluiskainen, tapaus 1, ohuet kerrokset savikolla	Jyrkkäluiskainen, tapaus 3, ohuet kerrokset savikolla	Reflex, paksu sidottu kantava
Pintakantavuus, MPa	40	100	136	138	290
Urasivyyden vähentyminen	35 - 45 %	15 - 20 %	23 - 31 %	55 - 60 %	15 - 25 %
Käyttöiän pidentyminen	100 - 250 %	50 - 60 %	40 - 50 %*	130 - 190 %*	50 - 60 %

* 15 mm urasivyyteen ekstrapoloitujen tulosten perusteella.

Verrattaessa pudotuspainolaitteella määritettyjä kantavuusarvoja eri HVS-rakenteiden urautumisnopeuksiin havaittiin, että kun pudotuspainolaitteella määritetty kantavuus pienenee, urautumisnopeus kasvaa merkittävästi (kuva 2.19). Kuvassa 2.19 on esitetty HVS-kokeiden lisäksi yhden TPPT-kohteeseen (Kt78 Ranua) tulos. Kohde antaa samansuuntaisen tuloksen kuin HVS-kokeetkin. Kantavuuden 'kynnysarvona', jonka jälkeen urautumisnopeudet kasvavat merkittävästi, voidaan pitää 60 - 100 MPa.



Kuva 2.19. HVS-rakenteiden ja TPPT-kohteeseen Ranua urautumisnopeudet pudotuspainolaitekantavuuksiin verrattuna.

2.3 Reflex-tutkimuksen yhteenveto

2.3.1 Aineisto

REFLEX – "Reinforcement of Flexible Road Structures with Steel Fabrics to Prolong Service Life" projekti oli BRITE-EURAM III ohjelmaan kuuluva hanke, jonka tavoitteet olivat:

1. teräsverkkojen / -lujitteiden kehittäminen, myös geometrian (raken- teen) osalta
2. teräslujitteilla varustettujen tierakenteiden käyttäytymisen analysointi
3. lujitettujen tierakenteiden mitoituksen optimointi.

Projektin tulosten hyödyntäjät edellisen esitetyn jaon mukaan:

1. terästeollisuus (verkkojen ja lujitteiden valmistajat)
- 2 ja 3 tiehallinto, urakoitsijat ja konsultit

Loppuraporttina julkaistussa "Teknisessä ohjeessa" osoitetaan, miten teräslujitteita voidaan hyödyntää lujitettujen tierakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa. Samoin siinä osoitetaan, että lujitteiden ansiosta rakenteen käyttöikä pitenee ja tierakenteiden kokonaistaloudellisuus paranee lujitteiden käytön ansiosta.

Liitteessä 4 on esitetty Reflex-tutkimuksen lopputuloksena julkaistut raportit. Taulukossa esitettyjen raporttien lisäksi on julkaistu 'Final Technical Report'. Julkiset raportit ovat luettavissa VTl:n Internet-sivuilta:
<http://www.vti.se/reflex/>.

2.3.2 Reflex -tutkimuksen tulokset

Reflex-tutkimuksessa on verrattu toisiinsa sekä verkkorakenteita että verkottomia rakenteita ja saatu seuraavia tuloksia:

- Verkkoratkaisulla on saavutettavissa noin 35 % parannus heijastushalkeamien suhteen
- Muutaman koekohteen perusteella on arvioitavissa, että rakennekerrosten levennyiskohteissa verkon käytöstä on hyötyä
- Italiassa kehitetty diagonaaliverkko toimii erityisen hyvin halkeilun ja urautumisen estämisessä.
- Urautumiskokeissa urien syvyys oli lujitetuilla rakenteilla vain 40 – 60 % verrattuna ei lujitettuihin rakenteisiin. Tämä vastaa 50 - 100 % lisäystä kuormituskerroissa. Pienimmillään urautumisnopeuden hidastuminen oli luokkaa 15 %.

- Loppuraportissa esitetään kolme geometrisesti muunneltua verkkotyyppiä, joiden avulla urautuminen väheni 40 – 60 %. Nämä tyypit ovat:
 - tyyppi 5 "K" on kolmedimensionaalinen verkko (rakennetta ei tarkemmin kuvattu)
 - tyyppi 6 "L" on verkko, jonka liitoskohta on "lonksahtava", jolloin verkon kaikki langat ovat samassa tasossa
 - tyyppi 1 "M" =diagonaaliverkko.
- Pudotuspainolaitemittauksien kantavuusarvossa ei havaittu merkittäviä eroja verkollisten ja verkottomien rakenteiden välillä
- Venymäliuskoilla tehdyt suorat muodonmuutosmittaukset antavat pienempiä venymän arvoja verkotetuille rakenteille. Tämä viittaa materiaalin väsymisen kannalta käyttöiän lisääntymiseen.
- Havaintotie E6-Fastarp-Sweden: 3,5 vuoden liikennekuormituksen jälkeen havaittiin verkkorakenteella noin 15 % vähemmän pysyviä deformaatioita kuin vertailurakenteessa. Tulosten perusteella on arvioitu, että verkkolujitteen edut tulevat paremmin näkyviin vasta, kun tien kunto on selvästi alentunut.
- Routahalkeamien estäminen onnistuu ohuillakin verkollisilla päällysterrakenteilla. Hyviä tuloksia on saatu saneerauskohteissa. Pinnassa olevan teräsverkon päälle on laitettava AINA vähintään 50 mm asfalttia. Raportissa todetaan, että 40 mm:n kerros routahalkeilun estämiseksi ei ole riittävä.
- Poikittaishalkeamia /epätasaisuuksia rummun kohdalla ei pystytty estämään (TRIER-koe) verkkorakenteella. Syyksi epäillään sitä, että verkot on asennettu poikittain.
- Päällysteen jyrsimiskokeissa teräsverkko tuotti ongelmia. Kokeiden tuloksena esitetään seuraavaa:
 1. Jyrsintä ulotetaan vain verkon yläpintaan asti.
 2. Vanha päällyste sahataan kapeiksi kaistaleiksi ennen jyrsintää
 3. Käytetään diagonaaliverkkoa.
- Verkon asennus syvemmälle kerrokseen tuottaa parempia tuloksia kuin pintakerroksissa. Tämä vaikutus siitä voimakkaampi, mitä pehmeämpi alusta on.
- Havaintojaksojen pituus ei riitä antamaan lopullista vastausta lujitettujen rakenteiden hyödyn kvantifioimiseksi. Hyödyn arvioinnissa on usein käytetty pudotuspainolaitetta, mutta mittausmenetelmä ei sovi hyödyn arvioimiseksi.

2.3.3 Taloudellisuusanalyysi (ote raportista T8)

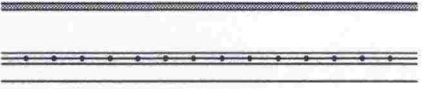

Reflex-tutkimuksessa tehtiin vertailua erilaisten verkkorakenteiden taloudellisuudesta perinteisiin rakenteisiin verrattuna (loppuraportti T8). Vertailua tehtiin sekä Suomen että Italian olosuhteissa. Vertailussa käsiteltiin viiden eritasoisen tien kustannuksia (liite 2, taulukot 1 - 5).

Vertailun yksikkökustannukset vaihtelevat paikkakunnasta ja määrästä riippuen. Liitteessä 2 esitetyissä taulukoissa kustannukset edustavat tyypillistä suomalaista tasoa.

Taloudellisuusvertailu tehtiin kahden eri rakenteen osalta: suomalainen moottoritie ja italialainen valtatie. Vertailu osoittaa, että lujitetut rakenneratkaisut tuovat ajan mittaan selkeää hyötyä. Suomalaisessa moottoritiekohhteessa havaittu hyöty oli suhteellisen pieni 30 vuoden tarkasteluajan jakson aikana. Sitä vastoin italialaisten esimerkkitapaus osoittaa verkkorakenteiden taloudellisuuden, jonka merkitys kasvaa 10 vuoden jälkeen. Verkon asennus syvemmälle tuottaa parempia tuloksia kuin pintakerroksissa. Optimisyvydeksi näissä tutkimuksissa todettiin 220 mm. Lujitteiden vaikutus on siitä suurempi, mitä pehmeämpi alustarakenne on.

2.3.4 Mitoitus

Reflex loppuraportissa esitetään lujitetun tierakenteen mitoitusmallina yksinkertaista ekvivalenttimenetelmän sovellutusta, jossa lujitteella varustettu rakennekerros korvataan ekvivalenttikerroksella. Esitetyissä yhtälöissä teräslujitteen (langan) pyöreä pinta-ala muutetaan pinta-alaltaan samankokoiseksi neliöksi, ja tuloksena saadaan mitoituksessa käytettävä ekvivalenttikerrospaksuus. Lujitetun sidotun ja sitomattoman kerroksen tapauksille annetut yhtälöt ovat rakenteeltaan samanlaiset. Ekvivalenttikerroksen moduuli määräytyy teräksen ja maamateriaalin pinta-alojen ja moduulien suhteen (kuva 2.20).

AC		E = 7500 MPa	$E_{AV} = \frac{E_{STEEL} \cdot A_{STEEL} + E_{UGM} \cdot A_{UGM}}{A_{STEEL} + A_{UGM}}$
UGM		E = 200 MPa	
"EL" UGM		E = E_{AV}	
Subgrade		E = 75 MPa	
		E = 50 MPa	

Kuva 2.20. Ekvivalenttikerroksen määräytymisperiaatteet kun lujiteverkko on asennettu ei sidottuun kerrokseen. (UGM = sitomaton rakeinen materiaali)

Esitetyn ekvivalenttimallin avulla suunnittelija ei voi ratkaista tarvittavan verkon mitoituslanganpaksuuksien tai optimaalisen aukkokoon osalta. Sopivana langanpaksuutena suositellaan 5 – 7 mm:ä. Muutenkin esitettyä mitoitusmenettelyä voidaan pitää 'ontuvana', sillä se ei kuvaa oikein rakenteen todellista käyttäytymistä.

Norjalais-yhdysvaltaisena yhteistyönä valmistellaan myös muilla kuin teräsverkoilla raudoitettujen tierakenteiden mitoitusmenettelyä (GeoRePave -projekti). Tutkimuksessa on havaittu samat ilmiöt kuin tässäkin, eli että rauditus ei muuta rakenteen hetkellistä käyttäytymisvastetta, vaan se lisää rakenteiden kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Siksi raudoitettuja

rakenteita ei voida mitoittaa muuttamalla niiden moduuleita tai väsymisominaisuuksia.

Verkon aukkokoon osalta vertailukokeissa todettiin lyhyt 75 mm:n aukko paremmaksi kuin isommat aukkokoot. Routanousuvaurioiden estämiseksi voidaan toki soveltaa myös suurempia aukkokokoa.

Tärkeinä lujitteen mitoitusparametreina esitetään langan ja ympäröivän materiaalin välille kehittyvää kitkaa, verkon geometrisiä mittoja, teräksen myötörajaa ja leikkauslujuutta.

Lujitteen teräslaadun vaikutusta tutkittiin venymämittauksin. Tähän ei saatu vastausta projektissa.

Korroosion osalta Reflex-loppuraportissa todetaan, että teräsverkon on oltava asennusvaiheessa mahdollisimman vapaa ruosteesta. Lisäksi on huolehdittava, että verkot suojataan tarvittaessa väliaikaisesti tuotannon ja asennuksen välillä. Kustannussyistä galvanisointia tai epoksi-pinnoitusta ei suositella. Mikäli verkko kuitenkin asennetaan ei sidottuihin kerroksiin, korroosiosuojausta voidaan tarvittaessa käyttää.

2.3.5 Reflex-loppuraportissa "Guidelines" esitetyt materiaali-vaatimukset eri mitoitusapauksille.

Urautumisen estäminen

Lujitteen tehtävä on pitää sidotun päällysteen kivi- ja sideaines paikallaan. Tarvittavat lujitevoimat ovat varsin pieniä ja teräslujuuksiksi riittää Re 400 MPa. Voimat siirtyvät hitsauspisteiden kautta, joten niiltä vaadittava lujuus on vähintään 50 % langan lujuudesta. Materiaalissa ei saa esiintyä korroosiota.

Verkkotyyppiä suositellaan kolmiulotteista diagonaali- ja suorakulmaista verkkoa. Langan paksuudeksi suositellaan 5 - 6 mm. Aukkokokoko riippuu kiviaineksen maksimiraekoosta, suositellaan 75 x 75 mm, (voi olla myös 100 - 150 mm), samat mitat molempiin suuntiin. Verkon tasossa pysyminen on tärkeä. Limitystavaksi ehdotetaan sormiliitosta.

Kantavuuden parantaminen

Näissä sovellutuksissa korostuu teräsverkon ja ympäröivän maamateriaalin välinen kontakti sekä verkkojen lukitseminen. Verkkotyyppiä suositellaan diagonaalista tai suorakulmaista verkkoa. Teräksen laatuvaatimukset ovat vähintään Re 400 MPa pituussuuntaan ja Re 500 MPa poikkisuuntaan. Terästen liitosten leikkauskapasiteetin tulee olla vähintään 30 % harjaterästen ja vähintään 50 % sileiden lankojen lujuudesta. Langan paksuussuositus on 5 - 7 mm. Kuitenkin 7 mm, jos tarvitaan korroosiovaraa. Aukkokokoko suositus

on 100 – 200 mm ja verkon muoto neliömuotoinen. Verkon tasossa pysyminen on tärkeä. Limitykseksi suositellaan sormiliitosta. Pientä korroosiota voi esiintyä.

Routanousun estäminen

Verkkotyyppiä suositellaan diagonaalista tai suorakulmaista verkkoa. Verkon tasossa pysyminen on tärkeä sidotussa kerroksessa. Teräksen laatuvaatimukset ovat vähintään Re 500 MPa poikkisuuntaan (joskus myös vähintään Re 700 MPa). Liitoksen leikkauskapasiteetin tulee olla noin 70 % teräslangan lujuudesta. Langan paksuussuositus on vähintään 5 mm, tai peräti 9 mm, jos on pelättävissä korroosiovaaraa sitomattomissa kerroksissa. Aukkokokosuositus on 100 mm neliömuotoisena tai 200 mm saakka suorakulmaisenä. Tien pituussuuntaisen limityksen suhteen ei ole vaatimuksia.

Pinnassa oleva verkko on peitettävä vähintään 50 mm kerroksella AB:ta. Sitomattomiin kerroksiin asentaminen tulee tehdä vähintään 100 mm syvyyteen. Korroosiosuojaa saattaa olla tarpeellinen sitomattomissa kerroksissa, esimerkiksi bitumisuojaus tai sinkitys.

Heijastushalkeamien estäminen

Verkkotyyppiä suositellaan diagonaalista tai suorakulmaista verkkoa. Teräslaaduksi riittää vähintään Re 500 MPa. Voimat siirtyvät hitsauspisteiden kautta, joten niissä liitokselta vaaditaan vähintään 50 % langan lujuuden leikkauskapasiteetista. Murtovenymän suhteen vaatimus on vähintään 3 %.

Tarvittava langan paksuus on 5 mm (myös 6 tai 7 mm käyvät). Aukkokoko riippuu kiviaineksen maksimiraekoosta, yleensä kuitenkin suositellaan 75 - 100 mm neliömäistä tai suorakulmaista verkkoa. Verkon tasossa pysyminen on tärkeää. Limitykseksi suositellaan sormiliitosta. Korroosiota ei saa esiintyä. Tarvittaessa voidaan tehdä suojaus bitumilla tai sinkitsemällä.

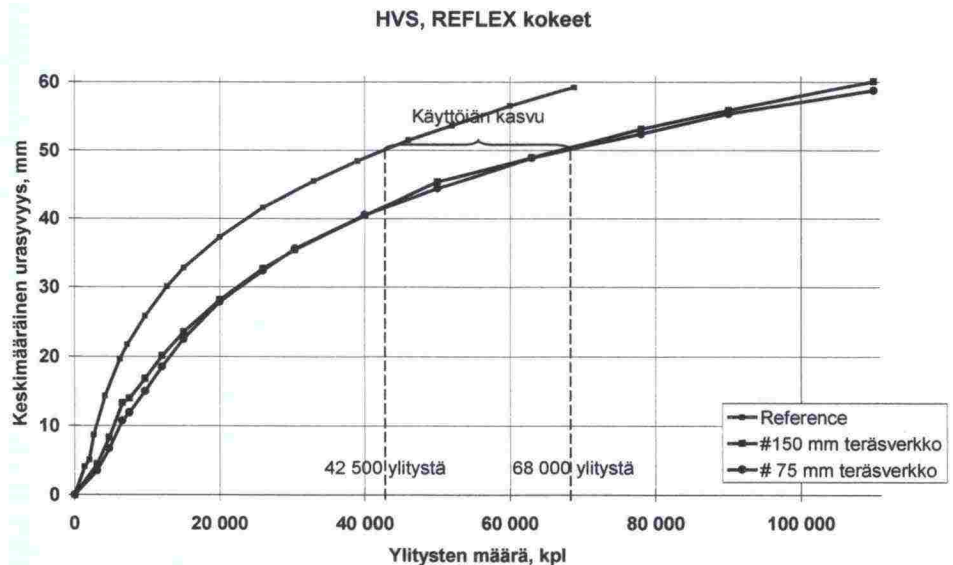
Edellä esitetyt materiaalisuosituksukset on koottu liitteen 3 taulukkoon.

3 TERÄSVERKON VAIKUTUS ERI MITOITUS-TAPAUKSISSA JA OLOSUHTEISSA

3.1 Urautuminen

Kaikissa tutkimuksissa on havaittu, että teräsverkoilla voidaan hidastaa rakennekerrosten pysyvää muodonmuutosta eli urautumista (kts. HVS Reflex kuvat 2.14, 2.15 ja HVS 'Jyrkkäluiskainen' kuva 2.17). Keskimäärin tämä hidastuminen on vastannut urasyvyyden 40 % ... 60 % pienentymistä. Suurimmillaan urasyvyyden erot ovat olleet luokkaa 220 % (kuva 2.17 HVS 'Jyrkkäluiskainen') ja pienimmillään 15 % (Reflex-tutkimus kpl 2.3). Teräsverkon vaikutus on pieni rakenteissa, joissa on paksu sidottu kantava kerros tai sen kantavuus on muuten hyvä.

Keskimäärin voidaan olettaa rakenteen käyttöiän pidentymistä samalla urasyvyydellä noin 50 %...100 % (kuva 3.1), kun otetaan huomioon vain rakenteen deformaatio, ei päällysteen kulumista. Myös lasikuitulujitteita käyttämällä on havaittu samansuuruista urautumisen hidastumista kuin teräsverkoilla (kuva 2.17).



Kuva 3.1. Lujitetun rakenteen käyttöiän kasvu.

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että teräsverkot toimivat tehokkaimmin urautumisen estämisessä tapauksissa, joissa tien kantavuus on alhainen (vrt kuva 2.18). Myös Tiehallinnon tilastollinen aineisto (liite 5) - tosin melko suppea - osoittaa saman ilmiön urautumisen osalta.

Eri lujitteiden toiminnan välillä ei havaittu merkittäviä eroja, kun lujitetta käytetään hidastamaan urautumista. Kapeilla teillä urautumista hidastava lujite on syytä asentaa koko poikkileikkauksen leveydelle. Sitä vastoin leveämmillä teillä lujite on levitettävä ainakin koko kaistan leveydelle.

On mahdollista, että teräsverkkojen antama hyöty ei aina toteudu edellä esitetyn suuruisena. EPS:llä kevennetyssä koerakenteessa, jossa teräsverkko sijaitsi vain 100 mm EPS:n yläpinnan yläpuolella, teräsverkkorakenteen käyttöön pidentyminen oli luokkaa 10 % verrattuna lujittamattoman rakenteen käyttöikään.

Reflex - projektissa tutkittiin teräsverkon ideaalista sijoitusyvyyttä sekä laboratoriokekein että laskelmin. HVS - kokeet eivät tue sidottujen kerrosten ehdotuksia lujitteiden asennussyvyyksiksi. Reflex-kokeiden suositusten mukaan teräsverkot tulisi asentaa vähintään seuraaviin syvyyksiin:

- Sitomattomissa kerroksissa, jos halutaan vähentää pohjamaan urautumista, verkon paras sijainti olisi noin 300 mm syvyys, kuitenkin vähintään 200 mm syvyyteen.
- Sidotuissa kerroksissa syvyyssuositus on 80 mm, HVS 'Jyrkkäluiskaisen mukaan 50 mm syvyyskin voi olla riittävä, mikäli asennus tehdään huolella.

HVS kokeissa havaittiin (kpl. 2.2.3), että teräsverkon sijaitessa sidotuissa kerroksissa kerrosten välisellä kontaktilla on suuri vaikutus rakenteen toimintaan. Vertailtaessa kahta lähes samanlaista rakenneparia Jyrkkäluiskaisessa kokeessa on niiden välillä havaittu merkittävä ero urautumisnopeudessa. Toisessa kokeessa urautumisnopeus pieneni 77 % ja toisessa 200 % vertailurakenteeseen verrattuna. Osittain tämä ero selittyy sillä, että rakenteet olivat hieman erilaisissa tilanteissa ennen kuormitusta. On kuitenkin todennäköistä, että myös asfalttikerrosten välinen sitoutuminen on vaikuttanut tähän suureen eroon. Kokeessa, jossa havaittiin pienempi urautumisnopeusero, asfalttikerrokset olivat selvästi irronneet toisistaan kokeen lopussa. Toisessa rakenneparissa asfalttikerrosten välillä oli havaittavissa voimakkaampaa sitoutumista ja kerrokset olivat vain osittain irronneet toisistaan.

Rakenteiden purkuvaiheen havaintojen mukaan parhaiten oli sitoutunut lasikuituverkko Polyfelt PGM G100/100, joka oli liimattu kiinni bitumiemulsiolla. Myös lujittamattomien alueiden näytteet olivat lähes yhtenäisesti liimautuneet toisiinsa. Sitä vastoin kaikissa teräsverkkorakenteissa oli havaittavissa epäyhtenäistä asfalttikerrosten kiinnittymistä toisiinsa.

Asfalttikerrosten välistä sitoutumista voidaan parantaa seuraavin toimenpitein: vanhan asfaltin pinta puhdistetaan huolellisesti ennen lujitteen asentamista esimerkiksi lakaisukoneella tai painepesurilla. Teräsverkon asentamisen jälkeen, ennen uuden asfaltin levitystä, vanha asfaltti lämmitetään tai sen pintaan levitetään bitumiemulsiota.

HVS tutkimusten mukaan teräsverkon silmäkoolla ei näyttäisi olevan vaikutusta urautumisnopeuteen (kuva 2.15). Reflex tutkimusten laskentojen mukaan sidotuissa kerroksissa teräsverkko, jonka silmäkoko on # 75 mm, toimii tehokkaammin urautumista estävästi kuin # 150 mm tai # 100 mm verkko (raportti Reflex report T7:02).

3.2 Väsymishalkeamat

Teräsverkot estävät rakenteen väsymisestä aiheutuvien halkeamien syntyä jossain määrin. HVS Routakokeessa, jossa pohjamaa oli sulamisen takia hyvin pehmeä, havaittiin väsymishalkeamien muodostumisessa noin 20 % ...30 % vähentymistä (kpl 2.2.3). Kantavuudeltaan paremmissa HVS Reflex kokeissa todettiin, että sitomattomassa kantavassa kerroksessa oleva # 75 mm verkko hidasti väsymishalkeamien muodostumista hieman ja #150 mm verkko ei hidastanut lainkaan (kpl 2.2.2). Reflex-projektin laskelmissa (Reflex report T7:02) on todettu, että verkkorakenteisin muodostuvat hetkelliset (resilientti) muodonmuutokset ovat noin 5 %... 10 % pienempiä kuin verkottomissa rakenteissa.

Tiehallinnon tilastollinen aineisto (liite 5) osoittaa, että kohteissa, joissa vaurioitumisnopeus on ollut suuri ennen rakenteen korjaustoimenpidettä, teräsverkkorakenteet ovat hidastaneet vaurioitumisnopeutta hieman enemmän kuin kohteissa, joissa vaurioitumisnopeus on ollut pienempi.

3.3 Heijastus- ja levennyshalkeamat

Sementillä sidotun kantavan kerroksen heijastushalkeamia voidaan Reflex-tutkimuksen perusteella vähentää noin 35 % käyttämällä teräsverkkoja (kpl 2.3).

Muutaman Reflex-koekohteen perusteella on arvioitu, että verkkorakenteella voidaan estää rakennekerrosten levennyshalkeamiin muodostuvia halkeamia. Tämän vaikutuksen suuruudesta ei ole esitetty arviota.

3.4 Routahalkeamat

Koko tien levyiset verkot estävät pituussuuntaisten routahalkeamien muodostumista verkotetulla alueella (kpl 2.2.1). Myös pitkäaikaiset maastohavainnot, joissa on seurattu verkotettuja ja verkottamattomia rakenteita, osoittavat, että verkot estävät routahalkeamien muodostumista. Verkotetulla alueilla pituussuuntaiset halkeamat siirtyvät verkkojen reunoille luiska-alueelle. TPPT- kokeissa ei pituussuuntaisia routaperäisiä halkeamia havaittu, vaikka routanousu oli 300 mm ja routanousuero reunan ja keskikohdalla välillä oli 70mm. Teräsverkot lieventävät myös poikkisuuntaisten routahalkeamien muodostumista rajoittamalla halkeamien leveyttä ja vähentämällä niiden määrää. TPPT-tutkimuksen perusteella verkot tasaavat myös poikkisuuntaisia routanousueroja.

Reflex-kokeiden mukaan routahalkeamien estäminen onnistuu kevyilläkin verkoilla (kpl 2.3). Reflex tutkimuksen suositus on kuitenkin teräsverkon päälle vähintään 50 mm asfalttikerrosta.

Teräsverkon tulee ulottua koko poikkileikkauksen leveydelle. Pituussuuntaisesti ei verkkoja TPPT tutkimusten mukaan tarvitse limittää, vaan pus-

kusauma riittää, mikäli arvioitu routanousu on yli 100 mm (kpl 2.2.1). Mikäli routanousun on arvioitu olevan alle 100 mm, verkot voidaan asentaa siten, että niiden välissä voi olla enintään 500 mm välinen aukko.

3.5 Pituussuuntainen epätasaisuus:

Eri tutkimuksissa ei ole havaittu, että teräsverkoilla voitaisiin estää pituussuuntaisen epätasaisuuden muodostumista (kpl 2.2.1 ja 2.3). Esimerkiksi Reflex-koerakenteessa Trierissä poikittaishalkeamia / epätasaisuuksia rummun kohdalla ei pystytty estämään verkkorakenteella.

3.6 Mitoitus

Kaikkien tutkimusten perusteella voidaan havaita, ettei pudotuspainolaitemittauksilla voida havaita juurikaan rakenteen kantokyvyn paranemista (kpl 2.2.2 ja 2.2.3). Sitä vastoin venymäliuskamittauksilla voidaan havaita rakenteeseen muodostuvan pienempiä venymiä (kpl 2.2.2). Norjalaisten tutkimusten mukaan levykuormituskokeilla voitaisiin mitata lujitettujen rakenteiden suurempi kantokyky.

Reflex -tutkimusten mukaan Italiassa kehitetty diagonaaliverkko toimii erityisen hyvin halkeilun ja urautumisen estämisessä (kpl 2.3).

Reflex-tutkimuksen mukaan verkon asennus syvemmälle kerrokseen tuottaa parempia tuloksia kuin ylempänä (2.3). Tämä vaikutus siitä suurempi, mitä pehmeämpi alusta on. HVS kokeista ei voida vetää vastaavaa johtopäätöstä aineiston pienuuden takia. Yleinen käytännön kokemus kuitenkin on, että teräsverkon asentaminen sitomattomiin kerrokseen on varmempi ratkaisu. Muutamia epäonnistumisia - lähinnä verkkojen esiin tunkeutumista - on tapahtunut päällystekerroksissa olevissa teräsverkoissa. Myös työturvallisuuseikat puoltavat verkkojen asentamista syvemmälle.

3.7 Työturvallisuus ja muut huomiot

Nykyisten teräsverkkorakenteiden korjausrakentamisessa on havaittu koneiden rikkoontumiseen ja siihen liittyen satunnaisesti työturvallisuuteen liittyviä ongelmia. Näitä syntyy erityisesti, jos verkko sijaitsee ylempänä rakenteessa tai päällysteessä ja rakenteelle on tehty sekoitusjyrsintää tai sitä on stabiloitu. On todennäköistä, ettei muilla lujitteilla esitetynlaisia ongelmia juuri esiinny.

Reflex-tutkimuksessa (kpl 2.3) esitetään seuraavat ehdotukset päällysteessä olevien teräsverkkorakenteiden osalta työtekniikoiksi:

- Jyrsintä ulotetaan vain verkon yläpintaan asti.
- Vanha päällyste ja verkko sahataan kapeiksi kaistaleiksi ennen jyrsintää
- Käytetään diagonaaliverkkoa.

Teräsverkot suositellaan asennettavaksi siten, että poikittainen lanka on ylempänä kuin pituussuuntainen lanka. Tähän on kaksi syytä. Ensinnäkin työteknisesti ratkaisu on varmempi, sillä pituussuuntaisen langan sijaitessa ylempänä niillä on taipumus työntyä esiin jatkotyöväiheidä aikana. Toisena syynä - erityisesti sidotuissa päällystekerroksissa olevissa verkoissa - on se, että päällimmäinen lanka muodostaa paremman kontaktin asfaltin kanssa. Koska rakenteen toiminnan kannalta poikkilangan toiminta on tärkeämpää, on syytä sijoittaa se ylemmäs.

Reflex-tutkimuksen perusteella arvioitiin, että havaintojaksojen pituus ei riitä antamaan lopullista vastausta lujitettujen rakenteiden hyödyn kvantifioimiseksi. Erityisesti rakenteiden pitkäaikaiskäyttäytymisestä (pysyvyys, korrosio jne.) ei ole riittävästi tietoa.

3.8 Johtopäätökset

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että teräsverkkorakenteet ovat kustannustehokkaita lisäämään rakenteen käyttöikää routimishalkeamien, urautumisen sekä kantavuuden parantamisen suhteen. Erityisen edullisia teräsverkkorakenteet ovat tierakenteissa, johon muodostuu tai on jo muodostunut suuria siirtymiä, urautumista tai vaurioita sekä routahalkeamien syntymisen estämisessä.

4 KIRJALLISUUS

Järvinen, S., Erikoisrakenteen vaikutus tien kuntoon, Luonnos kevät 2003. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja sarjaan. 2003.

Kangas, H.; Onninen, H., Saarelainen, S., Testing a pavement on thawing, frost-susceptible subgrade with the heavy vehicle simulator, Finnra reports 31/2000, Helsinki 2000, 69 s.

Pihlajamäki, J., Wiman, L., Gustafson, K., REFLEX Final report T4:02 Full scale Accelerated Tests. www.vti.se 2002. 45 s.

Tammirinne, M., Valkeisenmäki, A., Ehrola, E., Tierakenteiden tutkimusohjelma 1994-2001. Yhteenvetoraportti. Tiehallinnon selvityksiä 36/2002. Helsinki 2002. 104 s.

TPPT 38. Koerakenteiden rakentaminen, seuranta ja tulokset. Kohderaportti Pt 18629 Temmes. Espoo 2001. 48 s. + liitt. 3 s.

TPPT 41. Koerakenteiden rakentaminen, seuranta ja tulokset. Kohderaportti Kt 78 Ranua. Espoo 2001. 47 s. + liitt. 6 s.

TPPT 31. Koerakenteiden rakentaminen, seuranta ja tulokset. Kohderaportti Mt 661 Isojoki. Espoo 2001. 43 s. + liitt. 18.

TPPT 25. Koerakenteiden rakentaminen, seuranta ja tulokset. Kohderaportti Kehä III. Espoo 2001. 33 s. + liitt. 3.

Reflex- raportit kts. liite 4.

5 LIITTEET

Liite 1. HVS - testauksen yleiskuvaus ja HVS-jyrkkä koerakenteen kartta

Liite 2. Reflex- tutkimuksen taloudellisuusanalyysi

Liite 3. Reflex-tutkimuksen mukaiset materiaalisuositukset.

Liite 4. Reflex – raporttiluettelo

Liite 5. Tilastollinen aineisto

LIITE 1. HVS - TESTAUKSEN YLEISKUVAUS JA HVS-JYRKÄ KOERAKENTEEN KARTTA

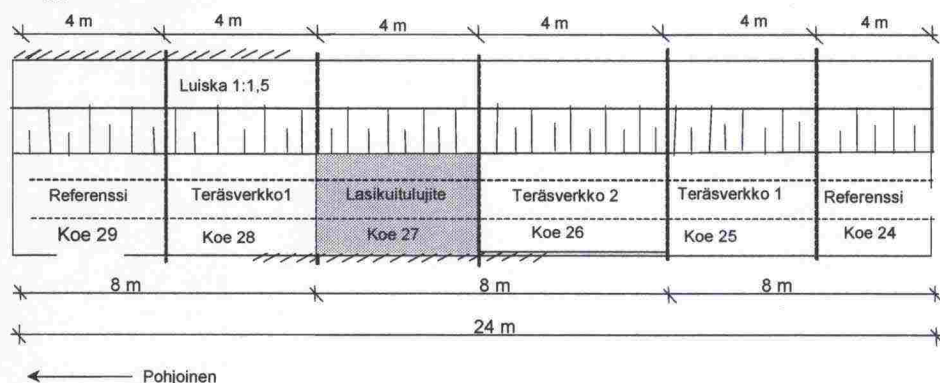
HVS - testauksen yleiskuvaus

HVS-Nordic (engl. HVS - Heavy Vehicle Simulator) suomalaisten ja ruotsalaisten yhteisomistuksessa oleva koetiekone, jolla voidaan tehdä tierakenteiden nopeutettuja kuormituskokeita. Kuormitus on lineaarinen ja kone on 23 m pitkä, 3,7 m leveä ja 4,2 m korkea. Sen kokonaismassa on 46 tn. HVS-Nordicin kuormitusalue voi maksimissaan olla 1,5 metriä leveä. Kuormitusalueen kokonaispituus on kahdeksan metriä, josta kuuden metrin matkalla pyöräkuorma ja sen nopeus ovat tasaisia. Pyöräkuormituksen nopeus näissä kokeissa on ollut 12 km/h.

Simulaattorilla saatavan kuorman yläraja on 110 kN ja alaraja on 20-25 kN. Kuorma voidaan kohdistaa rakenteeseen kuorma-auton yksittäisen pyörän tai paripyörän välityksellä. Simulaattorilla on teoriassa mahdollista ajaa 25 000 kuormitusta vuorokaudessa (kaksisuuntainen kuormitus). Lisäksi laitteeseen kuuluu lämmitys-jäähdytysyksikkö, jonka avulla testattava tierakenne pidetään halutun lämpöisenä. Laitteen siirto vaatii kylmäeristeiden purkamisen ja suuremmissa siirroissa myös testipyörän irrottamisen.

VTT:llä on Otaniemessä kuormitusalue, jossa on kaksi koeallasta. HVS kokeita voidaan tehdä myös maastossa. Tässä esitetyt suomalaiset kokeet on tehty Otaniemen koealtaissa ja ruotsalaiset kokeet on tehty VTI:n tiloissa Linköpingissä.

HVS-jyrkkä kartta



Rakenteet on kuormitettu 8 metrin pituisina alueina, eli aina kahden rakenneparin sarjana (24 - 25, 26 - 27 ja 28 - 29). Rakenneparin 24 - 25 kohdalla olleessa alkuperäisessä KePä - rakenteessa ei ollut lainkaan luiskia. Rakenneparin 26 - 27 kohdalla oli loivaluiskainen (1:3) rakenne ja rakenneparin 28 - 29 kohdalla oli samanlainen jyrkkäluiskainen (1:1,5) rakenne kuin jälkimmäisessä kokeessakin.

LIITE 2. REFLEX-TUTKIMUKSEN TALOUDELLISUUSANALYYSI (OTE RAPORTISTA T8)

Taul. 1 Suomen tieverkosto, päällystetyt tiet. Moottoritiet (kaksi ajokaistaa 2x10 m) kokonaispituus 550 km. (1: SMA/REM= hot milling&mixing adding new SMA-type material; 2: ACB 32/150 = asphalt concrete as the base course, max # 32 mm, 170 kg per square meter)

		layer thick- ness [mm]	layer width [m] per lane	material type kg/m ²	cost [FIM/m ²]	estimate of total existing [km]	Kind of maintenance measure	costs of maintenance measure [FIM/m ²]	frequency of maintenance measure in 30 years	to be done after n years (n)
1	wear course	50	3,75	SMA 16/120	45,00	550	SMA/REM ¹ SURFACE MILLING BOX MILLING + SMA	1: 22,00 2: 6,00 3: 45,00	1: 2 2: 2 3: 2	1: 5 2: 10 3: 13
2	road base	60	3,75	ACB 32/170 ²	50,00	550	NONE	-		-
3	unbound road base	500	4,5	CRUSH ED ROCK	35,00	550	NONE	-		-

Taul. 2 Suomen tieverkosto, päällystetyt tiet. Valtatiet, luokka I, kokonaispituus 8100 km.

		layer thick- ness [mm]	layer width [m] per lane	material type and q'ty [kg/m ²]	cost [FIM/m ²]	estimate of total existing [km]	Kind of maintenance measure	costs of maintenance measure [FIM/m ²]	frequency of maintenance measure in 30 years	to be done after n years (n)
1	wear course	50	3,5	AC 16/120	38,00	8100	AC/REM SURFACE MILLING HOT MILLING + AC	20,00 6,00 25,00	2 1 1	8...9 14 18
2	road ba- se	50	3,5	ACB 25/120	40,00	8100	NONE			
3	unbound road ba- se	400	4,5	CRUSH ED ROCK	32,00	8100	NONE			

Taul. 3 Suomen tieverkosto, päällystetyt tiet. Kantatiet, luokka II, kokonaispituus 4700 km.

		layer thick- ness [mm]	layer width [m] per lane	material type and q'ty [kg/m ²]	cost [FIM/m ²]	estimate of total existing [km]	Kind of maintenance measure	costs of maintenance measure [FIM/m ²]	frequency of maintenance measure in 30 years	to be done after n years (n)
1	wear course	40	3,5	AC 16/100	30,00	4700	AC/REM or equivalent HOT MILLING + AC	19,00 25,00	2 1	9...11 20...22
2	road base	50	3,5	ACB 25/120	40,00	4700	NONE			
3	unbound road base	350	4,0	CRUSH ED ROCK	28,00	4700	NONE			

Taul. 4 Suomen tieverkosto, päällystetyt tiet. Paikallistiet, hot mix pavement, kokonaispituus 4500 km (3: stabilisation with hydraulic binder (usually granulated BF-slag with some Portland cement))

		layer thick- ness [mm]	layer width [m] per lane	material type and q'ty [kg/m ²]	cost [FIM/m ²]	estimate of total existing [km]	Kind of maintenance measure	costs of maintenance measure [FIM/m ²]	frequency of maintenance measure in 30 years	to be done after n years (n)
1	wear course	50	3,25	AC 16/120	38,00	4500	AC/REM+40 kg (or equivalent) HOT MILLING + AC	23,00 25,00	1 1	10...15 20...25
2	road base	150	3,25	HYD. STAB. ³	23,00	4500	NONE			
3	unbound road base	250	4,0	CRUSH ED ROCK	21,00	4500	NONE			

LIITTEET

Taul. 5

Suomen tieverkosto, päällystetyt tiet. Paikallistie, kevyt (cold mix) päällyste, kokonaispituus 32500 km. (4: PAB = soft asphalt concrete; 5: UGM = unbound granular material, like crushed rock or gravel; 6: REMO = warm milling of old PAB, adding new material, mixing, and paving (all on site); 7: DEEP RECYCLING = mixing old wear course with unbound road base to the depth of about 200 mm).

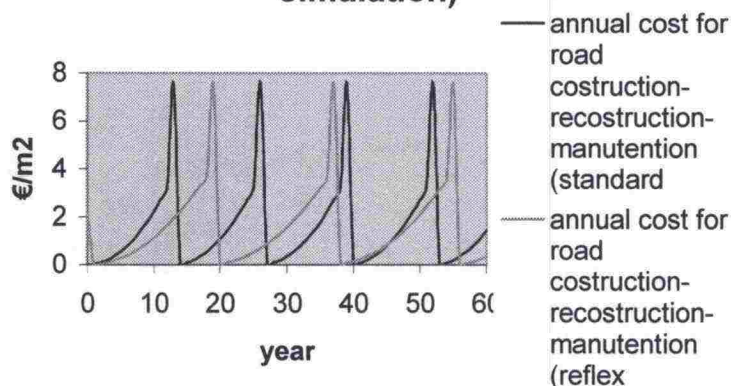
		layer thick- ness [mm]	layer width [m] per lane	mate- rial type and q'ty [kg/m ²]	cost [FIM/m ²]	estimate of total existing [km]	Kind of maintenance measure	costs of maintenance measure [FIM/m ²]	frequency of maintenance measure in 30 years	to be done after n years (n)
1	wear course	40	3,00	PAB 16/100 4	25,00	32500	REMO ⁶ + 30kg DEEP RECYCLING ⁷ + PAB_100kg	20,00 28,00	1 1	10...15 10...15
2	road base	-	-	-	-					
3	unbound road base	350	3,5	UGM ⁵	30,00	32500				

Esimerkki 1. Suomalainen moottoritie.

Taul. 6 Suomen olosuhteissa vähemmän taloudelliseksi osoittautunut ratkaisu moottoritielle - kustannusvertailu verkottoman ja teärsverkkorakenteiden välillä.

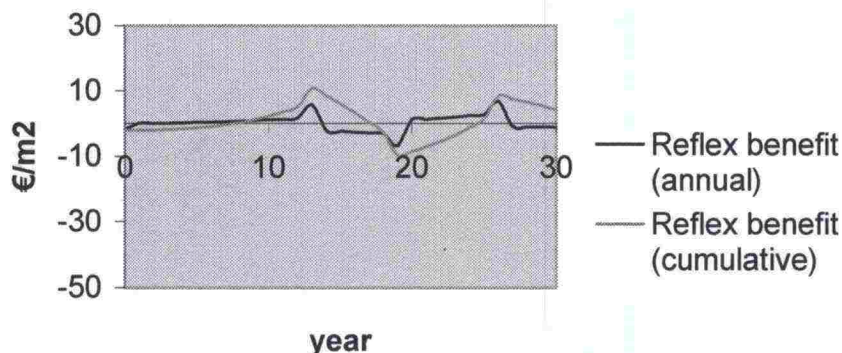
Country	Finland	Reflex Technology	
Kind of road	Motorway	cost of wear course layer	7,56 €/m ²
Traffic	Medium intensity		
Standard Technology		steel amount	4,00 kg/m ²
cost of wear course layer	7,56 €/m ²	cost of mesh (on site)	0,52 €/kg
		cost of mesh (on site)	2,07 €/m ²
handmade life (WC+RB)	13 years	handmade life benefit (RB)	40 %
		(RB is permanent structure)	
max annual mauntenance	0,5 times		
cost referred to remaking	3,78 €/m ²		0,5 times
WC		max annual mauntenance cost	3,78 €/m ²
		referred to remaking WC	

cost/time diagram (Finland, motorway simulation)



Kuva 1. Tien ylläpitokustannusten vertailu tavanomaisen ja Reflex-rakenteen välillä.

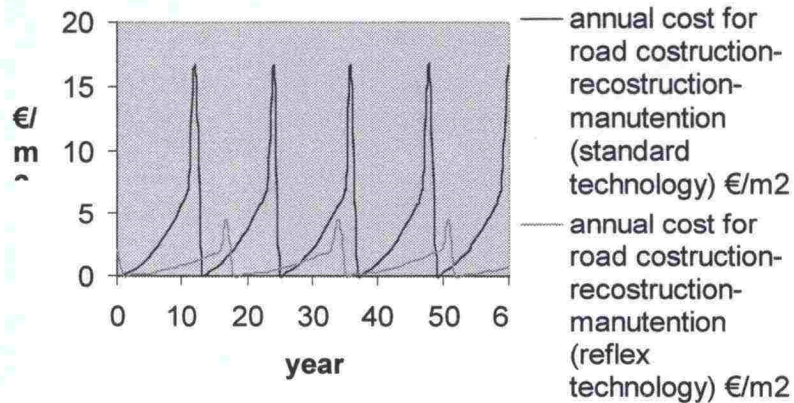
benefit cumulative diagram (Finland, motorway simulation)



Kuva 2. Kumulatiivinen hyöty-suomalaisessa moottoritie esimerkkitapauksessa.

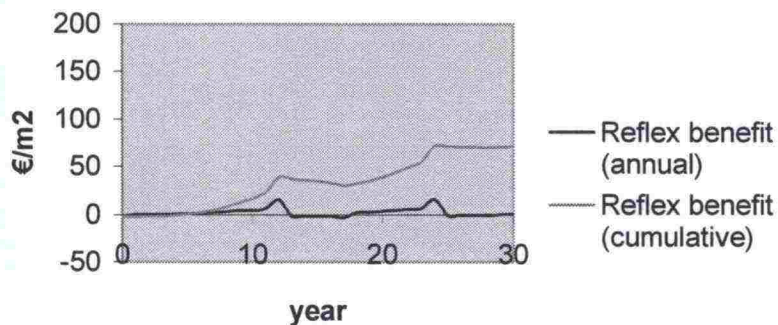
Esimerkki 2: Valtakunnallinen tie Italiassa

cost/time diagram (Italy, statal road simulation)



Kuva 3 Ylläpitokustannusten kehitys.

benefit cumulative diagram (Italy, statal road simulation)



Kuva 4 Kumulatiivinen hyöty kuvaaja.

Taul. 7 Italialainen valtatie – korkea liikennesävy - kustannusvertailu verkottoman ja teärsverkkorakenteiden välillä.

Kind of road	State roads	Reflex Technology	
Traffic	Hight traffic intensity	cost of wear course layer	4,48 €/m²
Country	Italy	cost of road base layer	12,11 €/m²
Standard Technology		steel amount	4 kg/m²
cost of wear course layer	4,48 €/m²	cost of mesh (on site)	0,52 €/kg
cost of road base layer	12,11 €/m²	cost of mesh (on site)	2,07 €/m²
handmade life (WC+RB)	12 years	handmade life benefit (RB)	40 %
		(RB is permanent structure)	
max annual mauntenance	0,5 times		
cost referred to remaking	8,295 €/m²		0,5 times
WC+RB		max annual mauntenance cost	2,24 €/m²
		referred to remaking WC	

LIITE 3. TERÄSVERKKOMITOITUKSEN MATERIAALISUOSITUKSET (REFLEX)

Purpose of Application	ESSENTIAL PROPERTIES AND TECHNICAL DELIVERY CONDITIONS										3. MECHANICAL PROPERTIES +			
	2. DELIVERY CONDITIONS++										R _c (MPa)	Age	ne	IR
1. GEOMETRICAL PROPERTIES +++														
	Patch form	Pitch dimension (mm)	Joints	Size (mm)	Size in directions	Delivery form	Fineness	Rust	Corrosion protection	Transport means	Dim. of panels			
Avoidance of rutting	+++ 3 ~ diagonal, rectangular, crimped	+	+++ Finger overlap	5 ~ 6	ds1 = ds2	+	+	Slight rust is allowed, but strong corrosion should be avoided	No (Spraying with liquid bitumen before paving)	Stiff support	Length < 2.5 m (practic 2.2 m) Width 3-1.2 m (according to road width)	+	> 30% ~ 50%	+
Increase of bearing capacity	+	+	+++ Finger overlap, *pitch overlap	5 ~ 7	ds1 = ds2	+	< 20/2000	Slight rust is allowed, but strong corrosion should be avoided	No	Stiff support	Length is in placing direction	+	> 30% ribbed > 50% plain	+
Avoidance of frost heaves	+	+	+++ Finger overlap	5 ~ 9	ds1 = ds2 x ds2	panels	+	+	Bitumen, oversize, zinc	Stiff support	Length is in placing direction	+	> 30% ~ 70%	+
Avoidance of reflective cracking	+	+	+++ Finger overlap	5 ~ 7	ds1 = ds2	panels	< 20/2000	Slight rust is allowed, but strong corrosion should be avoided	Bitumen, zinc	Stiff support		+	> 50%	+
Comments		The pitch dimension depends on the size of the aggregate	*Every second fabric have to be turned around											

+ == Grade of importance

LIITE 4. REFLEX-TUTKIMUKSEN RAPORTTILUETTELO

Raportti	Otsikko	Tehtävä
T2:01	Investigation of material specification of steel and the configuration of steel fabric	Product development
T2:02 final	Investigation of material specification of steel and the configuration of steel fabric	
T3:01	Experimental activity required for the input to the theoretical modelling and for the planning of accelerated tests and test roads.	Basic research- compound
T3:02 final	Laboratory studies on asphalt-steel net compound system and unbound granular material-steel net compound system.	System
T4:01	Full scale accelerated tests.	
T4:02 final	Full scale accelerated tests.	Full scale accelerated test
T5:01	Performance of existing reinforced roads	Experiences from existing
T5:02 final	Performance of existing reinforced roads	(old) reinforced roads
T6:01	Design and construction of full scale test roads	Construction of test roads
T6:02	Performance of full scale test roads	
T6:03 final	Performance of full scale test roads	
T7:01	Modelling of flexible pavement reinforced by steel net.	Modelling
T7:02 final	Modelling of flexible pavement reinforced by steel net.	
T8:02 final	Economical and environmental aspects	Economy and ecology
T9:02 final	GUIDELINES	

LIITE 5. TIEHALLINNON TILASTOLLINEN AINEISTO
ERIKOISRAKENTEIDEN VAIKUTUKSESTA TIEN
KUNTOON.

Aineistolla on pyritty ennustamaan toimenpiteen vaikutusta alkuperäiseen kuntomuuttujan kasvunopeuteen.

Tarkasteluissa on esitetty TP2-toimenpiteen jälkeinen kuntomuuttujan kasvunopeus edeltävän kasvunopeuden (=TP1 jälkeen) ja toimenpiteen TP2 rankkuuden mukaan.

Taulukko 1. Aineiston määrä ja toimenpiteen vaikutus vauriosumman kasvu-
nopeuteen.

			TP2 Plaji = AB						TP2 Plaji = PAE					
			Pi- tuus /km	Vsnop TP1	Vsnop TP2	Vnop- suhde (TP2/T P1)	Vaik. kerroin	Ver- tailu luku	Pituus /km	Vsnop TP1	Vsnop TP2	Vnop- suhde (TP2/T P1)	Vaik. kerroin	Ver- tailulu- ku
				Mean	Mean					Mean	Mean			
Leveät Pitkä	Vsnop TP1	TP2												
Ei leveitä pituushal- keamia	1: hidas <3.0	1: Laatta	30,5	0,8	1,6	1,93	0,41		80,5	1,1	1,3	1,23	0,21	0,79
		2a: Teräsverkko + Laatta							1,8	1,6	1,8	1,15	0,27	1,00
		2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp							3,4	1,7	1,5	0,88	0,23	1,00
		3: Sekoitusjyrsintä							3,5	1,0	3,3	3,22	0,54	2,35
		4: Raskas RP	24,2	0,7	0,5	0,64	0,13		76,2	1,1	1,0	0,94	0,17	0,74
		5: Masuuni, sementtistabilointi	4,2	0,9	1,1	1,26	0,28		31,6	1,5	2,5	1,67	0,38	1,67
		6: Bitumistabilointi	7,3	0,3	0,3	1,07	0,09		0,2	1,2	0,4	0,35	0,07	-
		7: Kuonastabilointi							0,2	1,0	2,2	2,33	0,37	-
		8: Muu erikoisrakenne							2,0	1,3	1,5	1,17	0,24	1,03
	2:nopea =>3.0	1: Laatta	4,7	8,9	1,8	0,20	0,15		42,5	8,0	3,3	0,42	0,26	
		2a: Teräsverkko + Laatta							0,4	6,9	4,0	0,57	0,33	
		2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp							0,7	4,3	1,4	0,33	0,15	
		3: Sekoitusjyrsintä							0,1	3,1	10,3	3,36	1,27	
		4: Raskas RP	3,2	5,2	0,7	0,14	0,09		48,2	7,2	1,6	0,23	0,13	
		5: Masuuni, sementtistabilointi	0,8	3,9	0,8	0,22	0,12		22,1	5,5	2,9	0,53	0,28	
		6: Bitumistabilointi	0,2	3,5	0,3	0,09	0,05		0,8	7,3	0,7	0,10	0,06	
		7: Kuonastabilointi							0,2	6,9	10,0	1,44	0,84	
		8: Muu erikoisrakenne							0,6	3,4	2,0	0,57	0,23	
On le- veitä pi- tuushal- keamia	1: hidas <3.0	1: Laatta	0,6	1,6	2,8	1,81	0,62		10,9	1,6	1,7	1,07	0,26	
		2a: Teräsverkko + Laatta							0,4	1,0	6,8	6,49	1,12	
		2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp							0,3	1,6	0,9	0,59	0,14	
		3: Sekoitusjyrsintä							0,5	2,0	4,6	2,30	0,66	
		4: Raskas RP	2,2	1,6	0,8	0,52	0,18		12,8	1,8	1,0	0,57	0,15	
		5: Masuuni, sementtistabilointi	0,6	1,7	1,0	0,59	0,21		8,1	1,8	1,9	1,03	0,27	
		6: Bitumistabilointi							0,2	1,5	0,7	0,45	0,10	
		8: Muu erikoisrakenne							0,4	1,2	1,2	1,02	0,20	

LIITTEET

2: nopea =>3.0	1: Laatta	1,3	7,1	3,7	0,52	0,36		18,9	7,6	3,1	0,41	0,25	1,07
	2a: Teräsverkko + Laatta							1,0	4,4	2,2	0,50	0,23	1,00
	2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp							1,6	5,4	2,4	0,44	0,23	1,00
	4: Raskas RP	1,3	4,9	0,7	0,14	0,09		33,1	7,3	2,1	0,29	0,17	0,75
	5: Masuuni, sementtistabilointi	0,7	5,1	1,2	0,23	0,15		13,7	5,2	2,5	0,47	0,24	1,05
	6: Bitumistabilointi							0,7	6,5	0,9	0,14	0,08	-
	8: Muu erikoisrakenne							0,1	3,5	1,1	0,33	0,13	-
	Yhteensä	82	1,7	1,1	0,65	0,23		417,7	3,8	1,9	0,50	0,22	

Vauriosumman kasvunopeus ennen kunnostusta VS_{nopea}TP1 on VS/pääll.ikä^{1,4} ja kunnostuksen jälkeinen VS_{nopea}TP2. Vaikutuskerroin on VS_{nopea}TP2/(VS_{nopea}TP1+T m²/vuosi^{1,4}). T = 3 AB-teillä ja 5 PAB-teillä. Vertailuluku on toimenpiteen vaikutuskerroin jaettuna verkolla varustetun toimenpiteen vaikutuskertoimella.

Taulukosta 1 nähdään, että AB-teillä on verkolla varustettuja osuuksia niin vähän, että vertailuja ei voi tehdä. PAB-teillä on verkolla varustettuja rakenteita vähintään 1 km luokassa 'Ei leveitä pituushalkeamia, hidas VSnopeus' ja luokassa 'On leveitä pituushalkeamia, nopea VSnopeus'. Vaurioitumisnopeus on lihavoitu, kun aineistoa on yli 10 km ja pienellä fontilla, kun aineisto on alle 1 km. PAB-teillä ei ole sementtistabilointeja vaan masuunihiekkastabilointeja.

Hitaasti vaurioituneilla teillä kunnostuksen jälkeinen vaurioitumisnopeus on tavallisesti suurempi kuin ennen kunnostusta. Niin käy tässäkin aineistossa. Se johtuu siitä, että vauriohavainnoinnissa on paljon epätarkkuutta, ja vauriomäärä useammin merkitty liian pieneksi kuin suureksi silloin, kun kuntorekisteriin on merkitty pieni vauriomäärä. Toinen syy on se, että hitaasti vaurioituneilla osuuksilla on keskimääräistä enemmän päällysteitä, jotka ovat onnistuneet keskimääräistä paremmin tuotantovaiheessa. Taulukkoon merkitty toimenpidekohtainen vaikutuskerroin ei sisällä yhtä paljon kyseisiä virheitä, vaan vaikutuskerroin on samaa suuruusluokkaa alkuperäisestä vaikutuskertoimesta riippumatta.

Toimenpide on sitä tehokkaampi, mitä pienempi vaikutuskerroin toimenpiteellä on. Tässä aineistossa vaikutuskertoimet ovat samaa tasoa kuin koko kuntorekisteristä on laskettu kyseisille toimenpiteille: Koko kuntorekisteriaineistossa AB-laatan tai pintauksen vaikutuskerroin PAB-päällysteen päällä on tyypillisesti 0,18...0,28 paksuudesta riippuen ja PAB-toimenpiteiden 0,3...0,4. Tässä aineistossa saadaan vastaava tulos 0,21...0,25. Stabilointien vaikutuskerroin on hiukan pienempi kuin pelkän päällysteen. Niin käy myös tässä aineistossa. Poikkeuksena ovat kuona ja sementtistabiloinnit, joiden vaikutuskerroin on hiukan suurempi, jos vaurioitumisnopeus on määritetty melko pian stabiloinnin jälkeen. Myöhemmin inventoitaessa hydraulille stabiloinneille saadaan yleensä pienempi kerroin.

Jos tiellä on alun perin leveitä pituushalkeamia, pelkkä laatta vaurioituu 1,07 (=vertailuluku) niin nopeasti kuin verkolla varustettu laatta, jos kummassakin tapauksessa tiellä olisi ollut alun perin sama vaurioitumisnopeus. Jos ei ole leveitä pituushalkeamia ja vaurioituminen on muutenkin ollut hidasta pelkkä laatta vaurioituu hitaammin eli 0,79 kertaa niin nopeasti kuin verkolla varustettu. Luvut eivät ole kovin luotettavia, koska aineisto on vain 1 km ja 1,8 km. Myös päällystepaksuuksien ja vaurioiden syiden erot voivat vaikuttaa eroihin.

Sekoitusjyrsintä vaurioituu 2,35 kertaa niin nopeasti kuin verkolla varustettu kantava kerros, masuunihiekka 1,05...1,67 kertaa niin nopeasti, ja raskas rakenteen parantaminen 0,74...0,75 kertaa niin nopeasti. Tässäkin aineisto on kovin pieni.

Pienellä fontilla tulostettuja lukuja ei ole aihetta käsitellä.

Taulukko 2. Aineiston määrä ja toimenpiteen vaikutus IRI:n kasvunopeuteen.

			TP2 Plaji = AB					TP2 Plaji = PAB				
			Pituus /km	IRInop TP1	IRInop TP2	IRInop suhde (TP2/TP1)	IRInop erotus (TP2-TP1)	Pituus /km	IRInop TP1	IRInop TP2	IRInop suhde (TP2/TP1)	IRInop erotus (TP2-TP1)
			Mean		Mean			Mean		Mean		
IRInop TP1	IRInop TP1	TP2										
1: hidas <0.8	1: hidas <0.8	1: Laatta	36,7	-0,07	0,04	-0,57	0,11	143,1	0,00	0,06	0,00	0,06
		2a: Teräsverkko + Laatta						3,3	0,05	0,05	1,00	0,00
		2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp						5,7	0,15	0,07	0,47	-0,08
		3: Sekoitusjyrsintä						4,0	0,12	0,04	0,33	-0,08
		4: Raskas RP	29,0	0,01	0,07	7,00	0,06	155,7	-0,01	0,04	-4,00	0,05
		5: Masuuni, sementtistabilointi	5,9	0,07	0,04	0,57	-0,03	72,1	0,08	0,07	0,88	-0,01
		6: Bitumistabilointi	7,5	0,00	0,15	0,00	0,15	1,9	0,12	0,03	0,25	-0,09
		7: Kuonastabilointi						0,3	0,30	0,06	0,20	-0,24
2: nopea 0.8-	2: nopea 0.8-	8: Muu erikoisrakenne						2,8	0,26	0,11	0,42	-0,15
		1: Laatta	0,4	2,04	0,04	0,02	-2,00	9,7	1,45	0,11	0,08	-1,34
		2a: Teräsverkko + Laatta						0,3	1,07	0,13	0,12	-0,94
		2b: Teräsverkko + Laattaa ras- kaampi Tp						0,3	0,95	-0,15	-0,16	-1,10
		3: Sekoitusjyrsintä						0,1	1,50	-0,55	-0,37	-2,05
		4: Raskas RP	1,9	1,30	0,13	0,10	-1,17	14,6	1,39	0,04	0,03	-1,35
		5: Masuuni, sementtistabilointi	0,4	1,09	0,04	0,04	-1,05	3,4	1,07	0,09	0,08	-0,98
		7: Kuonastabilointi						0,1	0,90	-0,47	-0,52	-1,37
	Yhteensä	8: Muu erikoisrakenne						0,3	0,90	0,11	0,12	-0,79
			81,8	0,03	0,06	2,00	0,03	417,7	0,10	0,05	0,50	-0,05

IRI:n kasvunopeus ennen kunnostusta IRI_{inopTP1} on (IRI ennen kunnostusta - aikaisempi IRI)/(IRI_{mittauten välinen aika}), ja kunnostusten jälkeinen IRI_{inopTP2}. IRI_{inopsuhde} on edellisten suhde ja IRI_{nerotus} on edellisten erotus.

LIITTEET

Taulukosta 2 nähdään, että AB-teillä on verkolla varustettuja osuuksia niin vähän, että vertailuja ei voi tehdä verkkojen osalta osalta. PAB-teillä on verkolla varustettuja rakenteita yli 1 km vain luokassa IRI_{nop} < 0,8 mm/m. PAB-teillä ei ole sementtistabilointeja vaan masuunihiekkastabilointeja.

IRI:n nopeus on usein lähellä nollaa, joka ei sovi jakajaksi. Sen vuoksi on turvallisempi käyttää erotusta. Mitä pienempi (negatiivinen) erotus, sitä tehokkaampi toimenpide.

Kun alkuperäinen IRI:n kasvunopeus on pieni, uudelleenpäällystäminen tai raskaampi toimenpide ei vaikuta IRI:n kasvunopeuteen, sillä IRI_{nop}userotus on -0,15...+0,09 eli käytännössä 0. Verkolla varustetut rakenteet eivät eroa muista. Pienellä fontilla merkittyihin lukuihin ei kannata kiinnittää huomiota, koska aineistoa on alle 1 km.

Kun alkuperäinen IRI:n kasvunopeus on suuri, kaikki toimenpiteet hidastavat IRI:n kasvua. -0,98...1,35 mm/m. Verkolla varustettuja toimenpiteitä on niin vähän, ettei verkon vaikutusta voida tutkia. Raskas RP vaikuttaa saman verran kuin pelkkä laatta, ja stabilointi hiukan vähemmän.

Taulukko 3. Aineiston määrä ja toimenpiteen vaikutus uran itseisarvon kasvunopeuteen.

		TP2 Plaji = AB					TP2 Plaji = PAB				
		Pituus /km	Uranop p TP1	Uranop p TP2	Uranopsuhde (TP2/TP1)	Vertailuluku	Pituus /km	Uranop TP1	Uranop TP2	Uranopsuhde (TP2/TP1)	Vertailuluku
			Mean	Mean				Mean	Mean		
Uranop TP1	TP2										
1:hidas <2.0	1: Laatta	13,8	1,0	1,3	1,36		78,6	0,8	2,4	2,89	2,30
	2a: Teräsverkko + Laatta						1,8	1,0	1,3	1,25	1,00
	2b: Teräsverkko + Laattaa raskaampi Tp						2,4	0,9	1,5	1,66	1,00
	3: Sekoitussyrsintä						1,1	1,2	2,4	2,07	1,24
	4: Raskas RP	19,7	0,8	2,5	3,11		86,9	0,8	3,4	4,04	2,43
	5: Masuuni, sementtistabilointi	2,8	1,0	1,1	1,18		22,7	1,0	2,1	2,18	1,31
	6: Bitumistabilointi	4,6	0,9	3,7	4,12		1,3	1,0	1,7	1,63	0,98
	8: Muu erikoisrakenne						1,2	1,1	5,0	4,48	2,69
2:nopea 2.0-	1: Laatta	23,3	4,8	1,7	0,35		74,2	5,2	2,3	0,44	1,94
	2a: Teräsverkko + Laatta						1,8	5,4	1,2	0,22	1,00
	2b: Teräsverkko + Laattaa raskaampi Tp						3,6	4,1	2,7	0,66	1,00
	3: Sekoitussyrsintä						3,0	4,1	2,9	0,69	1,06
	4: Raskas RP	11,2	4,8	5,2	1,10		83,4	5,0	3,0	0,59	0,90
	5: Masuuni, sementtistabilointi	3,5	3,2	1,4	0,43		52,8	5,2	1,6	0,31	0,47
	6: Bitumistabilointi	2,9	3,6	3,9	1,08		0,6	7,5	0,8	0,11	-
	7: Kuonastabilointi						0,4	5,0	1,1	0,22	-
	8: Muu erikoisrakenne						1,9	6,7	7,1	1,05	1,60
Yhteensä		81,8	2,7	2,5	0,90		417,7	3,1	2,6	0,83	

Uran kasvunopeus ennen kunnostusta UranopTP1 on (Urasysvyys-2 mm)/päällysteen ikä^{0,2} ja kunnostuksen jälkeinen UranopTP2. Uranopeussuhde on edellisten suhde. Vertailuluku on toimenpiteen uranopeussuhde jaettuna verkotetun rakenteen uranopeudella.

Taulukosta nähdään, että AB-teillä verkolla varustettuja rakenteita on niin vähän, että vertailua ei voida tehdä. PAB-päällysteisillä teillä aineistoa on molemmissa urautumisnopeusryhmissä. Jatkossa oletetaan, että PAB-teiden urautuminen on pääosin tierakenteen painumista ja deformatumista eikä kulumista.

Kun alkuperäinen urautumisnopeus on pieni, kunnostuksen jälkeinen urautumisnopeus on alkuperäistä suurempi. Kun alkuperäinen urautumisnopeus on suuri, kunnostus hidastaa urautumista. Mitä pienempi uranopeussuhde sitä tehokkaampi toimenpide.

Kun urautuminen on alun perin hidasta, verkoton laatta urautuu 2,30 (=vertailuluku) kertaa niin nopeasti kuin verkolla varustettu laatta, jos alkuperäinen urautumisnopeus olisi molemmissa tapauksissa sama. Sekoitussyrsintä, raskas RP, kuonastabilointi urautuvat 1,24...2,43 kertaa niin nopeasti kuin verkolla varustettu kantava kerros. Bitumistabilointi yllättävästi vain 0,98 kertaa niin nopeasti.

Kun urautuminen on alun perin nopeaa, verkoton laatta urautuu 1,94 kertaa niin nopeasti kuin verkolla varustettu laatta eli sama tulos kuin edellä. Tässä osajoukossa sekoitussyrsintä ja raskas RP urautuvat samalla nopeudella (0,90...1,06) kuin verkotettu laatta, ja kuonastabilointi vaurioituu vain 0,47 kertaa niin nopeasti.

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-096-0
TIEH 3200822